



SAMFÉLAGSLEGT VERÐMÆTI AUKINS AFHENDINGARÖRYGGIS

16.11.2022



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

SKJALALYKILL

100480-SKY-001-V04

SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

47

VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Jóns Skafti Gestsson

VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Haukur Ásberg Hilmarsson

LYKILORÐ

afhendingaröryggi, samfélag, samfélagslegt verðmæti, seigla.

STAÐA SKÝRSLU

- Drög
 Drög til yfirlustrar
 Lokið

DREIFING

- Opin
 Dreifing með leyfi verkkaupa
 Trúnaðarmál

TITILL SKÝRSLU

Samfélagslegt verðmæti aukins afhendingaröryggis

VERKHEITI

Samfélagslegt verðmæti aukins afhendingaröryggis

VERKKAUPI

Landsnet

HÖFUNDUR

Haukur Ásberg Hilmarsson
Kristinn Arnar Ormsson

ÚTDRÁTTUR

Breyting í væntum samfélagslegum kostnaði vegna skerðingar gefur vísbendingu um hver efnahagslegur ávinningur af fjárfestingu í auknu afhendingaröryggi er.

Nýr sæstrengur til Vestmannaeyja (VM4) eykur seiglu í kerfi Landsnets og kerfið verður sjaldnar fyrir alvarlegum skerðingum þrátt fyrir alvarlegar bilanir, En bilanir á sæstrengjum eru ávallt alvarlegar vegna þess hve erfitt getur verið að lagfæra þær og vegna þess hve kostnaðarsamt og langan tíma tekur að gera við. Viðbót VM4 miðað við núverandi kerfi veldur því að væntigildi samfélagslegs kostnaðar á ári dregst saman um 77-100 milljónir.

Meðaltalið er því um 89 milljónir og gefur þetta vísbendingu um hvert samfélagslegt virði aukinnar afhendingargetu vegna VM4 er.

Styrking í flutningskerfi á landi án fjárfestingar í VM4 veldur lækkun á væntum samfélagslegum kostnaði á ári um 5-14 milljónir og er meðaltalið um 10 milljónir. Mun fjárfesting í flutningskerfinu á landi draga verulega úr fjölda atvika sem valda því að ekki er hægt að koma orku til Vestmannaeyja. Hins vegar eru skerðingar á afhendingu vegna bilana á landi oftast þess eðlis að þær vara stutt og samfélagslegur kostnaður við þær því hlutfallslega ekki mikill. Stærstur samfélagslegur kostnaður felst í langvarandi skerðingu sem verður ef sæstrengur til Vestmannaeyja bilar. Fjárfesting í VM4 og styrking flutningskerfis á landi dregur úr árlegum væntum kostnaði vegna skertrar afhendingargetu um 83-115 milljónir og er meðaltalið því um 99 milljónir. Ljóst er að þessi kostur gerir það að verkum að líkur á að afhendingargeta sé skert í Vestmannaeyjum er nánast 0%, því verður væntigildi kostnaðar mjög lágt.

Áætlaður kostnaður við VM4 er um rúmir 2,6 milljarðar króna.

Þrátt fyrir að líkur á langvarandi skertri afhendingargetu séu litlar miðað við núverandi raforkukerfi getur samfélagslegur kostnaður af slíkum atburði orðið mjög mikill. Því hefur fjárfesting í sæstreng, sem dregur úr líkum á langvarandi skerðingu, mun meiri áhrif á væntan samfélagslegan kostnað en fjárfesting í flutningskerfinu á landi, sem dregur úr líkum og alvarleika skemmri skerðinga.

ÚTGÁFUSAGA

NR.	HÖFUNDUR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
01	Haukur Ásberg Hilmarsson	16.10.22	Kolbrún Reinholdsdóttir Kristinn Arnar Ormsson	18.10.22	Haukur Ásberg Hilmarsson	19.10.22
Rýni á drögum innan EFLU						
02	Haukur Ásberg Hilmarsson Kristinn Arnar Ormsson	19.10.22	Jón Skafti Gestsson			
Drög send til rýni verkkaupa						
03	Haukur Ásberg Hilmarsson	09.11.22	Kolbrún Reinholdsdóttir	11.11.22	Kristinn Arnar Ormsson	16.11.22

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	9
2	ÁHRIF Á AFHENDINGARÖRYGGI	12
a.	Gögn við útreikning á afhendingaröryggi	13
b.	Núverandi kerfi	14
c.	Framtíðar kerfi	16
3	ORKU- OG AFLÞÖRF Í VESTMANNAEYJUM	17
a.	Orkuþörf í Vestmannaeyjum	17
i.	Flokkar raforkunotkunar	17
ii.	Sviðsmyndir raforkunotkunar	22
b.	Aflþörf í Vestmannaeyjum	23
4	SAMFÉLAGSLEGUR KOSTNAÐUR VIÐ SKERÐINGU	26
a.	Afleiðing bilunar í flutningskerfi	27
b.	Samfélagslegt verðmæti skertrar orku	28
c.	Kostnaður við rekstur varaafsstöðva	31
d.	Samfélagslegt verðmæti losunar vegna varaafsstöðva	32
e.	Samfélagslegt verðmæti bilunar	32
5	SAMFÉLAGSLEGT VERÐMÆTI AUKINS AFHENDINGARÖRYGGIS	33
6	NIÐURSTAÐA OG UMRÆÐUR	35
a.	Tölfræðileg greining ólíklegra atburða	37
VIÐAUKI A	AÐFERÐAFRÆÐI ÚTREIKNINGA Á AFHENDINGARÖRYGGI	40

MYNDASKRÁ

MYND 1 Einlínmynd af kerfinu á Suðurlandi sem sýnir núverandi kerfi og þær framkvæmdir sem eru á áætlun, og voru notaðar við útreikning á afhendingaröryggi. Grunnmynd fengin úr kerfisáætlun Landsnets.	12
MYND 2 Líkur á ölduhæð undir 2 m eftir mánuðum.	14
MYND 3 Heildarnotkun raforku í Vestmannaeyjum skv. notkunarflokkaskýrslum 1989-2021.	18
MYND 4 Notkun raforku eftir stærstu notkunarflokkum í Vestmannaeyjum skv. notkunarflokkaskýrslum 2020-2022.	18
MYND 5 Samband rafhitunar og meðalhitastigs. Heimild: HS Veitur og Veðurstofa Íslands	19
MYND 6 Rauntölur um raforkunotkun til fiskfrystingar og áætlaður afli til fiskfrystingar janúar 2020 - maí 2022	20
MYND 7 Rauntölur um raforkunotkun til bræðslu og áætlaður afli til bræðslu janúar 2020 - maí 2022	21
MYND 8 Áætluð raforkunotkun sviðsmynda eftir notkunarflokkum og mánuðum	23
MYND 9 Áætluð raforkunotkun sviðsmynda eftir mánuðum	23
MYND 10 Afhent afl í Vestmannaeyjum 2018-2020 eftir mánuðum og klukkustundum.	24
MYND 11 Áætluð þróun aflgetu ef afhendingargeta frá raforkukerfinu er engin	27
MYND 12 Áætluð orka sem hægt er að afhenda og áætluð skerðing við mismunandi afhendingargetu og sviðsmyndir notkunar	28
MYND 13 Áætlaður samfélagslegur kostnaður vegna skerðingu raforku sem hefst á þriðjudegi í janúar kl.10:00	29
MYND 14 Meðalkostnaður (kr./kWh) vegna 48 klst skerðingar eftir atvinnugrein, mánuði, vikudegi og upphafsklukkustund raforkuskorts	30
MYND 15 Áætlaður kostnaður á framleidda kWh með varaafli sem fall af heildarorkumagni sem framleitt er í mánuði mælt í MWh	31
MYND 16 Áætlaður samfélagslegur kostnaður vegna skertrar afhendingargetu í Vestmannaeyjum	33
MYND 17 Dreifing samfélagslegs kostnaðar vegna skertrar afhendingargetu samkvæmt Monte Carlo hermun. Núverandi raforkukerfi án VM4	38
MYND 18 Dreifing samfélagslegs kostnaðar vegna skertrar afhendingargetu samkvæmt Monte Carlo hermun. Núverandi raforkukerfi með VM4	39
MYND 19 Flæðirit sem sýnir ferli útreikninga í stórum dráttum	41
MYND 20 Einföld rás með 4 einingum	42
MYND 21 Breytingar í veðri.	45
MYND 22 Meðalsveiflur í veðri.	46

TÖFLUSKRÁ

TAFLA 1 Munurinn á seiglu og áreiðanleika	10
TAFLA 2 Líkur á aflstöðu í hverjum mánuði, núverandi raforkukerfi án VM4	15
TAFLA 3 Líkur á aflstöðu í hverjum mánuði, núverandi raforkukerfi með VM4	15
TAFLA 4 Líkur á aflstöðu í hverjum mánuði, framtíðar raforkukerfi án VM4	16
TAFLA 5 Líkur á aflstöðu í hverjum mánuði, framtíðar raforkukerfi með VM4	16
TAFLA 6 Forsendur um ráðstöfun afla í Vestmannaeyjum	20

TAFLA 7 Sögulegar tölur um áætlaðan nýtingartíma raforku í Vestmannaeyjum _____	24
TAFLA 8 Meðalvirði skerðingar sem endist í 30 mínútur eftir atvinnugreinum og mánuðum (kr./kWh) _____	30
TAFLA 9 Meðalvirði skerðingar sem endist í 48 klukkustundir eftir atvinnugreinum og mánuðum (kr./kWh) _____	31
TAFLA 10 Væntigildi samfélagslegs kostnaðar á ári vegna skertrar afhendingargetu í Vestmannaeyjum _____	34
TAFLA 11 Forsendur fyrir grófu kostnaðarmati VM4 _____	36
TAFLA 12 Þversniðin í rásinni. _____	42

1 INNGANGUR

Ljóst er að fjárfesting í flutningskerfinu eykur afhendingaröryggi. Aukið afhendingaröryggi raforku hefur margvíslegar jákvæðar afleiðingar fyrir samfélög bæði til lengri og skemmri tíma. Aukin afhendingargeta og aukið afhendingaröryggi gerir samfélögum kleift að grípa tækifæri sem bjóðast og vaxa á hátt sem annars væri ekki mögulegt¹².

Auk þess að veita samfélögum svigrúm til vaxtar og stuðla að auknum hagvexti til lengri tíma getur fjárfesting í flutningskerfinu einnig dregið úr mögulegum samfélagslegum skaða ef kemur til alvarlegra atburða líkt og fárviðra eða bilana í flutningskerfinu.

Seigla (e. resilience) er geta raforkukerfis til þess að starfa við fátíðar en alvarlegar aðstæður sem gætu truflað afhendingu raforku, t.d. jarðskjálftar eða fárviðri, án þess að afhending verði fyrir alvarlegri skerðingu³. Hugtakið er frábrugðið áreiðanleika (e. *reliability*) líkt og sjá má í töflu 1.

¹ <https://landsnet.is/library?itemid=487c4194-4b96-47ce-b5b4-3480152fab1f>

² <https://landsnet.is/library?itemid=9b485b76-acf9-4448-aaef-664a8938221a>

³ E. Vugrin, A. Castillo og C. Silva-Monroy, „Resiliene Metrics for the Electric Power System: A Performance-Based Approach,“ Sandia National Laboratories, 2017.

TAFLA 1 Munurinn á seiglu og áreiðanleika

	ÁREIÐANLEIKI	SEIGLA
Eiginleikar atburðar	Óvissa vegna tímabundinna truflana og sveiflna í flutningi undir eðlilegum kringumstæðum	Fátíðir atburðir sem fylgja miklar afleiðingar, langvarandi truflanir á afhendingu og hafa mikil áhrif á flutning raforku
Lengd truflunar	Nokkrar sekúndur – Nokkrar klukkustundir	Dagar - Mánuðir
Landfræðileg áhrif	Afmarkað svæði, t.d. hverfi	Stærri svæði t.d. landshluti eða eyja
Hagfræðilegt tap	Óafhent raforka til afmarkaðs hóps viðskiptavina	Óafhent raforka til viðskiptavina og afleidd áhrif á hagkerfið til lengri tíma
Mælikvarðar	Margir vel skilgreindir mælikvarðar: <ul style="list-style-type: none"> • LOLE • EENS • SAIDI • SAIFI • CAIDI • VOLL 	Nokkrir mismunandi mælikvarðar, enginn sem er í almennt notkun
Nauðsynleg gögn	Söguleg gögn, oftast er samantekt á þeim atburðum sem eiga sér stað yfir ákveðið tímabil t.d. eitt ár	Framsýn líkanagerð og hermun, með hliðsjón af fátíðum sögulegum atburðum

Tilraunir til að reyna að meta seiglu og meta virði hennar eru stutt á veg komnar og ekki er til staðar viðurkennd aðferðarfræði sem notuð er á mörgum stöðum. Ýmsar tillögur hafa þó komið fram sem endurspeglar aukið mikilvægi þess að mæla seiglu raforkukerfa í nútíma samfélagi og meta nýjar ógnir við afhendingaröryggi (t.d. aukinn breytileiki í veðri og gamlir innviðir)⁴⁵⁶.

Það að mæla áhrif ákveðinna framkvæmda á seiglu er þó ekki nóg eitt og sér. Nauðsynlegt er að setja kostnað við framkvæmdina í samhengi við þann ábata sem ávinnst af henni en til að meta þann ábata er nauðsynlegt að hægt sé að meta til verðs aukna seiglu raforkukerfisins.

Töluverð reynsla er til staðar um verðmæti óafhentrar raforku eftir vinnu START hópsins síðustu áratugi. Algengasta leiðin til þess að meta verðmæti aukinnar seiglu er að byggja á þeim grunni sem VOLL (*e. Value of Lost Load*) myndar. Hefur START reiknað virði óafhentrar raforku (VOLL) í langan tíma og er því til staðar töluverð þekking á þeim kostum og göllum sem þeirri aðferðarfræði fylgir.

Algengasta leiðin til þess að meta verðmæti óafhentrar raforku er sú sem START notar og ACER mælir með⁷. Byggir aðferðarfræðin á því að mynda kostnaðarfall viðskiptavinar (*e. customer damage function, CDF*) sem lýsir sambandi á milli lengdar truflunar og kostnaðar. Þessi aðferðarfræði hefur almennt reynst vel en er þó ekki gallalaus. Kostnaður er almennt mældur með könnunum um greiðsluvilja. Þýðir það að hvort sem verið er að meta kostnað einstaklinga eða fyrirtækja er það á ábyrgð manneskju að svara spurningum og meta möguleg áhrif vegna raforkuskorts. Ýmsar bjaganir (*e. biases*) geta komið fram í svörum einstaklinga.

⁴ C. Murphy, E. Hotchkiss, K. Anderson, C. Barrows, S. Cohen, S. Dalvi, N. Laws, J. Maguire, G. Stephen og E. Wilson, „Adapting Existing Energy planning, Simulation, and Operational Models for Resilience Analysis,” NREL, 2020

⁵ P. Balducci, K. Mongird og M. Weimar, „Understanding the Value of Energy Storage for Power System Reliability and Resilience Applications,” Springer, 2021

⁶ K. Anderson, X. Li, S. Dalvi, S. Ericson, C. Barrows, C. Murphy og E. Hotchkiss, „Integrating the Value of Electricity Resilience in Energy Planning and Operation Decisions,” IEEE Systems Journal, 2019.

⁷ ACER, „Methodology for calculating the value of lost load, the cost of new entry and reliability standard,” 2020

Þrátt fyrir að VOLL athuganir séu ekki fullkomnar eru þær engu að síður best þekkta leiðin til þess að meta virði óafhentrar raforku. Mikilvægt er samt að hafa í huga hvar veikleikar slíkra kannana liggja þegar upplýsingar úr þeim eru notaðar.

Stungið hefur verið upp á nokkrum aðferðum til þess að meta virði seiglu og væri það hluti mögulegs verkefnis að meta hvaða aðferðarfræði hentar best fyrir Landsnet og íslenskar aðstæður. Hér verður vitnað í aðferðarfræði sem hönnuð var fyrir *U.S. Department of Energy*⁸.

$$V = Pr(H|S) * Pr(R|H) * Pr(D|R) * Pr(L|D)$$

Þar sem:

- V = Virði
- Pr = Líkur
- H = Atburður, t.d. jarðskjálfti
- S = Staðsetning
- R = Seigla gagnvart atburði
- D = Skemmdir sem verða
- L = Kostnaður vegna skemmda

Í greiningu þessari er gerð tilraun til þess að meta verðmæti aukinnar seiglu í flutningskerfinu á Íslandi. Hefur slík greining ekki verið framkvæmd áður á Íslandi og eru fá dæmi um slíkar greiningar á alþjóðavísu. Skoðar greiningin afhendingaröryggi í Vestmannaeyjum, hvernig fjárfesting í flutningskerfinu getur aukið seiglu og afhendingaröryggi í Vestmannaeyjum og hvert er samfélagslegt virði þeirrar aukningar. Skoðaðar eru fjórar mismunandi sviðsmyndir, annars vegar núverandi staða og hins vegar þrjár mismunandi fjárfestingar í flutningskerfinu sem myndu stuðla að auknu afhendingaröryggi raforku í Vestmannaeyjum.

Í kafla 2 er afhendingaröryggi metið fyrir hverja sviðsmynd. Í kafla 3 eru samfélagslegar afleiðingar af skerðingu metnar. Í kafla 4 er lagt verðmat á þær afleiðingar sem verða ef til skerðingar á afhendingargetu kemur. Í kafla 5 eru niðurstöður fyrri kafla ofnar saman og samfélagslegt virði metið. Í kafla 6 eru niðurstöður dregnar saman og jafnframt er stutt umfjöllun um niðurstöðurnar.

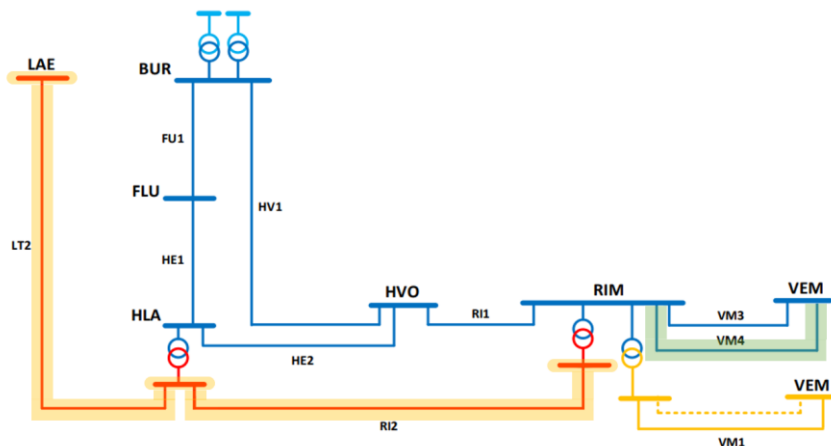
⁸ M. Weimar, B. Kravitz, S. Brown, A. Somani, D. Anderson, R. Dahowski, J. Niemeyer og K. Judd, „Methodology for Valuing Resilience to Severe Events for Department of Energy Sites,“ Pacific Northwest National Laboratory, 2018

2 ÁHRIF Á AFHENDINGARÖRYGGI

Í þessu verkefni er stuðst við aðferðafræði Landsnets við útreikning á staðbundnu afhendingaröryggi til að reikna afhendingaröryggi í Vestmannaeyjum út frá mismunandi forsendum, þ.e. uppsetningu flutningskerfisins til Vestmannaeyja. Í viðauka er aðferðafræðin útskýrð nánar.

Við útreikning á afhendingaröryggi var stuðst við núverandi kerfi Landsnets og svo úrbætur á kerfinu skv. áætlun Landsnets um framkvæmdaverk fyrir tímabilið 2022 til 2024⁹. Í báðum tilfellum er línuleið rakin beint til næstu innmötunar út frá legu flutningskerfis við úrvinnslu verkefnisins, þ.e. til Búrfellsvirkjunar (BUR). Áætlanir Landsnets gera ráð fyrir að Rimakotslína 2 (RM2/Hella - Rimakot) verði reist í lok árs 2024 og auki þar með afhendingaröryggi í landi og því fjölda annars stigs þversniða við útreikning á afhendingaröryggi í Vestmannaeyjum. Fyrir báða þessa kosti var svo afhendingaröryggið reiknað með og án Vestmannaeyjalínu 4 (VM4).

Mynd 1 sýnir þessar framkvæmdir þar sem Vestmannaeyjalína 4 er skyggð með grænu en Rimakotslína 2 auk Lækjatúnslínu 2 (LT2) er skyggð gul.



MYND 1 Einlínuymynd af kerfinu á Suðurlandi sem sýnir núverandi kerfi og þær framkvæmdir sem eru á áætlun, og voru notaðar við útreikning á afhendingaröryggi. Grunnmynd fengin úr kerfisáætlun Landsnets⁹.

⁹ Landsnet, „Kerfisáætlun Landsnet 2021-2030: Áætlun um framkvæmdaverk 2022-2024,“ Landsnet, Reykjavík, 2021.

Ef truflun verður er það flutningsgeta sæstrengjanna sem tengja Vestmannaeyjar (VEM) við Rimakot (RIM) sem ákveða magn skerðingar. Aflafhending til Vestmannaeyjum getur verið í þremur mismunandi stöðum út frá stöðu raforkukerfisins hverju sinni.

Óskert afhendingargeta:

Afhendingargeta er óskert ef engin vandamál eru til staðar í kerfinu, eða ef einungis Vestmannaeyjastrengur 1 (VM1) er óstarfhæfur sem sæstrengur, þar sem Vestmannaeyjastrengur 3 (VM3) getur annað heildareftirspurn miðað við söguleg gögn og spá Raforkuspár um mesta álag til 2060¹⁰.

Afhendingargeta skert að hluta:

Ef einungis VM3 er óstarfhæfur er afhendingargeta talin skert að hluta. Aflgeta VM1 hefur um 7 MW flutningsgetu og ljóst að ekki er hægt að flytja meira afl til Vestmannaeyja þann tíma sem VM3 er óstarfhæfur.

Afhendingargeta skert að fullu:

Afhendingargeta er talin skert að fullu ef báðir sæstrengir (VM1 & VM3) eru óstarfhæfir eða ef bilun verður á landi sem gerir það að verkum að ekki sé hægt að koma raforku til Vestmannaeyja, s.s. eins og bilun í tengivirkinu í Rimakoti eða ef Rimakotslínur 1 og 2 (RM1 og RM2) eru báðar eru bilaðar á sama tíma

Ítarlega útskýringu á aðferðarfræði við útreikning á afhendingaröryggi má finna í viðauka A.

a. Gögn við útreikning á afhendingaröryggi

Við gerð skýrslunnar voru gögn úr gagnagrunni START¹¹ hópsins um bilanatíðni og viðgerðartíma notuð fyrir einingar í kerfi Landsnets s.s. eins og línur, rofa, spennu, o.fl.. Litið var til truflana síðustu 10 árin.

Fyrir gögn um bilanatíðni og viðgerðartíma sæstrengina var stuðst við gögn frá Cigre¹², þar sem saga sæstrengja á Íslandi er stutt og þeir fáir. Meðalviðgerðartími strengja er 105 dagar¹² en þessi tala inniheldur þann tíma sem sjálf viðgerðin tekur og bið eftir viðgerðarskipi. Ekki er þó nóg að horfa einungis á þann tíma. Viðgerðartími sæstrengja ræðst einnig af áhrifum ölduhæðar á möguleika til viðgerðar á sjóstrengsleiðinni. Við viðgerð eða lögn nýrra sæstrengja þarf sérútbúin skip með fullkomnum staðsetningarbúnað (Dynamic Positioning, DP) en miðað er við að vinnslusvið þessara skipa takmarkist við 2,0 m markölduhæð (e. significant wave height). Því er ekki hægt að gera við strengi eða leggja nýja á tímabilum þar sem mikil áhætta er á hærri ölduhæð.

Á mynd 2 sjást líkur á ölduhæð undir 2,0 m eftir mánuðum á strengsleiðinni. Þar sést að mestar líkur eru á að uppfylla 2,0 m kröfuna frá maí til ágúst en líkurnar eru lægri yfir vetrarmánuðina. Því er í þessari greiningu gert ráð fyrir að einungis sé hægt að gera við strengina beint ef þeir bila á tímabilinu apríl til júní. Ef strengurinn bilar utan þess tímabils þarf að bíða þar til næsta maí til að hefja viðgerðir.

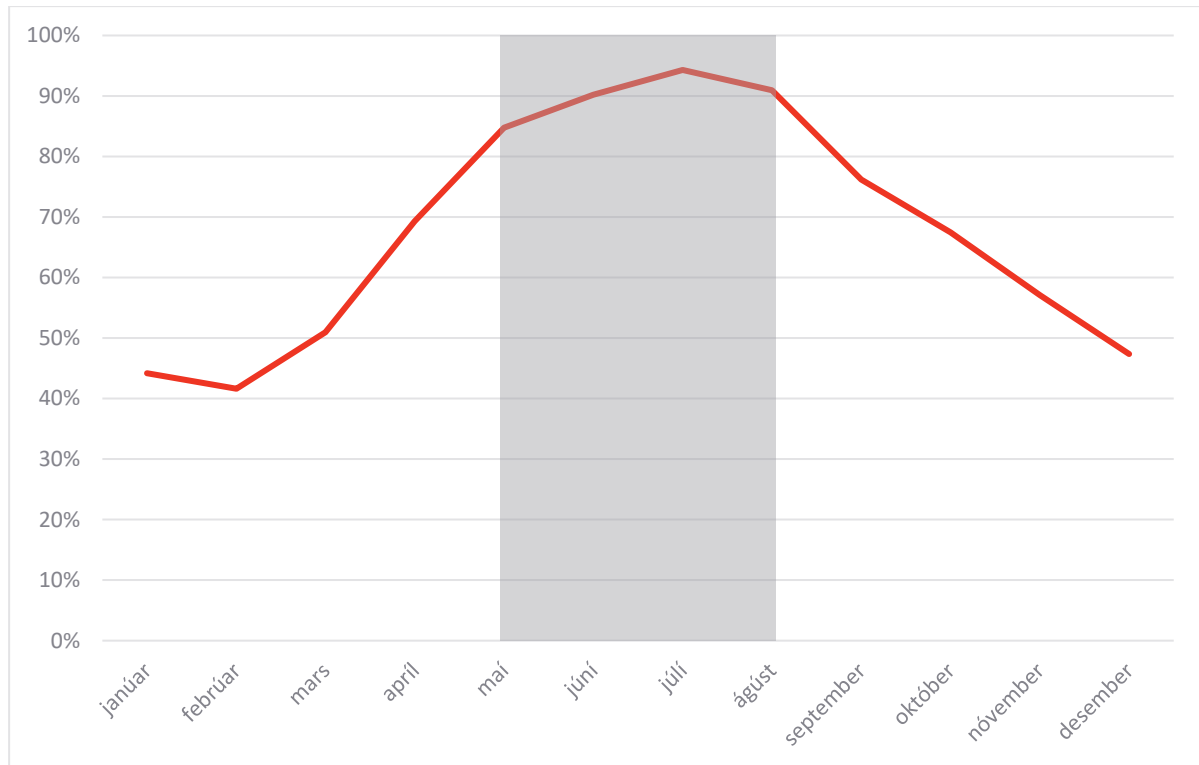
¹⁰ [Raforkuspá 2021-2060. Endurreikningur á spá frá 2020 út frá nýjum gögnum og breyttum forsendum](#)

¹¹ Truflun.is

¹² B1 – Technical Brochure, Insulated cables. Ref 815 frá 2020

Þetta þýðir að ef strengur bilar í september verður ekki hægt að gera við hann, eða skipta út, fyrr en í maí eða júní árið eftir.

Hér er einnig miðað við að varahlutir, s.s. eins og kapalbútar og samsetningar, sé aðgengilegur þegar viðgerðir hefjast. Ef þanta þarf slíka íhluti getur það lengt viðgerðatímann enn frekar en ekki er tekið tillit til þess í þessari greiningu.



MYND 2 Líkur á ölduhæð undir 2 m eftir mánuðum¹³.

b. Núverandi kerfi

Samkvæmt reglugerð 1048/2004 um gæði raforku og afhendingaröryggi¹⁴ skal meta afhendingaröryggi flutningsfyrirtækis og dreifiveitu út frá eftirfarandi stuðlum:

- Stuðull um rofið álag (SRA)
- Stuðull um meðallengd skerðingar, straumleysismínútur (SMS)
- Kerfismínútur (KM)

Flutningsfyrirtæki og hver dreifiveita um sig skal setja sér markmið hvað varðar þessa stuðla og þarf Orkustofnun að samþykkja þau. Orkustofnun getur ákvarðað markmið fyrir fyrirtæki ef stofnunin telur mat þess óraunhæft.

Markmið Landsnets um straumleysismínútur á ársgrundvelli fyrir allt kerfið eru 50 mínútur. Ekki hefur verið sett markmið fyrir einstaka afhendingarstaði eða landshluti. Hefur Landsnet oftast verið undir

¹³ Technical Note – VM3-30 Cable Connection to Vestmannaeyjar

¹⁴ <https://www.reglugerd.is/reglugerdir/allar/nr/1048-2004>

Því markmiði síðustu 10 ár. Árin 2012 og 2019 leiddu stórir veðuratburðir til þess að straumleysismínútur fyrir flutningskerfið voru fleiri en 50 mínútur þau ár.

Að viðhalda straumleysismínútum undir 50 mínútum jafngildir því að tiltæki raforku sé 99,9905% þ.e. að næstum 100% sé óskert afhending raforku.

Í núverandi kerfi eru tvær línur sem liggja til Hvolsvallar frá Búrfelli annars vegar í gegn um Flúðir og Hellu og hins vegar beint frá Búrfelli. Þaðan liggur ein lína til Rimakots, þar sem VM1 og VM3 liggja til Vestmannaeyja. Í þessu kerfi verður straumlaust í Vestmannaeyjum við truflanir á Rimakotslínu 1 (RI1), auk þess sem skerðing verður ef VM3 fer út. Mynd 1 sýnir kerfi Landsnets frá Búrfelli að Vestmannaeyjum.

Án VM4 eru áætlaðar líkur á að vera í ákveðinni aflstöðu líkt og sjá má í töflu 2. Sjá má að þegar miðað er við markmið um afhendingaröryggi fyrir allt landið á ársgrundvelli er enginn mánuður undir skilgreindu markmiði straumleysismínútna.

TAFLA 2 Líkur á aflstöðu í hverjum mánuði, núverandi raforkukerfi án VM4

MÁNUÐUR	ÓSKERT AFHENDINGARGETA	AFHENDINGARGETA SKERT AÐ HLUTA	AFHENDINGARGETA SKERT AÐ FULLU
Jan	98,7515%	1,1808%	0,0677%
Feb	98,9221%	1,0108%	0,0672%
Mar	99,1108%	0,8225%	0,0667%
Apr	99,2934%	0,6403%	0,0663%
Mái	99,2934%	0,6403%	0,0663%
Jún	99,2934%	0,6403%	0,0663%
Júl	97,6285%	2,2983%	0,0732%
Ágú	97,8180%	2,1100%	0,0720%
Sep	98,0012%	1,9278%	0,0710%
Okt	98,1904%	1,7395%	0,0700%
Nóv	98,3735%	1,5573%	0,0692%
Des	98,5625%	1,3691%	0,0684%

Með VM4 eru líkur á að vera í ákveðinni aflstöðu líkt og sjá má í töflu 3, jafnframt er sýnd breyting í líkum á aflstöðu frá töflu 2.

TAFLA 3 Líkur á aflstöðu í hverjum mánuði, núverandi raforkukerfi með VM4

MÁNUÐUR	ÓSKERT AFHENDINGARGETA	Δ	AFHENDINGARGETA SKERT AÐ HLUTA	Δ	AFHENDINGARGETA SKERT AÐ FULLU	Δ
Jan	99,9204%	+1,1689%	0,0139%	-1,1669%	0,0657%	-0,0020%
Feb	99,9241%	+1,0021%	0,0102%	-1,0005%	0,0657%	-0,0015%
Mar	99,9276%	+0,8167%	0,0068%	-0,8157%	0,0657%	-0,0010%
Apr	99,9302%	+0,6368%	0,0041%	-0,6362%	0,0657%	-0,0006%
Mái	99,9302%	+0,6368%	0,0041%	-0,6362%	0,0657%	-0,0006%
Jún	99,9302%	+0,6368%	0,0041%	-0,6362%	0,0657%	-0,0006%
Júl	99,8817%	+2,2532%	0,0526%	-2,2457%	0,0657%	-0,0075%
Ágú	99,8900%	+2,0720%	0,0444%	-2,0656%	0,0657%	-0,0063%
Sep	99,8973%	+1,8961%	0,0370%	-1,8908%	0,0657%	-0,0053%
Okt	99,9042%	+1,7137%	0,0302%	-1,7094%	0,0657%	-0,0043%
Nóv	99,9101%	+1,5367%	0,0242%	-1,5332%	0,0657%	-0,0035%
Des	99,9156%	+1,3531%	0,0187%	-1,3504%	0,0657%	-0,0027%

c. Framtíðar kerfi

Í áætlunum Landsnets er gert ráð fyrir nýju tengivirki við Lækjartún þaðan sem ný lína verður lögð að Hellu og þaðan til Rimakots. Þarna er fæðing að Rimakoti orðin tvöföld þ.e. hægt er að fæða Rimakot úr tveimur áttum og við það eykst afhendingaröryggi í Vestmannaeyjum. Enn verða þó skerðingar við truflanir á VM3.

Án VM4 eru líkur á að vera í ákveðinni aflstöðu í hverjum mánuði líkt og sjá má í töflu 4, jafnframt er sýnd breyting í líkum á aflstöðu frá töflu 2.

TAFLA 4 Líkur á aflstöðu í hverjum mánuði, framtíðar raforkukerfi án VM4

MÁNUÐUR	ÓSKERT AFHENDINGARGETA	Δ	AFHENDINGARGETA SKERT AÐ HLUTA	Δ	AFHENDINGARGETA SKERT AÐ FULLU	Δ
Jan	98,8167%	+0,0653%	1,1808%	0,0000%	0,0025%	-0,0653%
Feb	98,9873%	+0,0653%	1,0108%	0,0000%	0,0019%	-0,0653%
Mar	99,1761%	+0,0653%	0,8225%	0,0000%	0,0014%	-0,0653%
Apr	99,3587%	+0,0653%	0,6403%	0,0000%	0,0010%	-0,0653%
Maí	99,3587%	+0,0653%	0,6403%	0,0000%	0,0010%	-0,0653%
Jún	99,3587%	+0,0653%	0,6403%	0,0000%	0,0010%	-0,0653%
Júl	97,6938%	+0,0653%	2,2983%	0,0000%	0,0079%	-0,0653%
Ágú	97,8832%	+0,0653%	2,1100%	0,0000%	0,0068%	-0,0653%
Sep	98,0665%	+0,0653%	1,9278%	0,0000%	0,0057%	-0,0653%
Okt	98,2557%	+0,0653%	1,7395%	0,0000%	0,0048%	-0,0653%
Nóv	98,4387%	+0,0653%	1,5573%	0,0000%	0,0039%	-0,0653%
Des	98,6278%	+0,0653%	1,3691%	0,0000%	0,0031%	-0,0653%

Eins og áður segir þá verða tvær fæðingar til Rimakots og því verða aðeins skerðingar vegna truflana á landi ef báðar línurnar sem fæða Rimakot fara út vegna truflana eða þegar VM3 fer út vegna truflana, vegna takmarkaðrar flutningsgetu VM1.

Með VM4 eru líkur á að vera í ákveðinni aflstöðu líkt og sjá má í töflu 5. Markmið Landsnets um afhendingaröryggi fyrir allt landið á ársgrundvelli ætti að vera uppfyllt til lengri tíma fyrir mars til júní.

TAFLA 5 Líkur á aflstöðu í hverjum mánuði, framtíðar raforkukerfi með VM4

MÁNUÐUR	ÓSKERT AFHENDINGARGETA	Δ	AFHENDINGARGETA SKERT AÐ HLUTA	Δ	AFHENDINGARGETA SKERT AÐ FULLU	Δ
Jan	99,9857%	+1,2342%	0,0139%	-1,1669%	0,0004%	-0,0673%
Feb	99,9894%	+1,0673%	0,0102%	-1,0005%	0,0004%	-0,0668%
Mar	99,9928%	+0,8820%	0,0068%	-0,8157%	0,0004%	-0,0663%
Apr	99,9955%	+0,7021%	0,0041%	-0,6362%	0,0004%	-0,0659%
Maí	99,9955%	+0,7021%	0,0041%	-0,6362%	0,0004%	-0,0659%
Jún	99,9955%	+0,7021%	0,0041%	-0,6362%	0,0004%	-0,0659%
Júl	99,9470%	+2,3184%	0,0526%	-2,2457%	0,0004%	-0,0728%
Ágú	99,9552%	+2,1372%	0,0444%	-2,0656%	0,0004%	-0,0716%
Sep	99,9625%	+1,9613%	0,0370%	-1,8908%	0,0004%	-0,0706%
Okt	99,9694%	+1,7790%	0,0302%	-1,7094%	0,0004%	-0,0696%
Nóv	99,9754%	+1,6019%	0,0242%	-1,5332%	0,0004%	-0,0688%
Des	99,9809%	+1,4183%	0,0187%	-1,3504%	0,0004%	-0,0680%

3 ORKU- OG AFLÞÖRF Í VESTMANNAEYJUM

Munur á samfélagslegum áhrifum við skammtíma rafmagnsleysi og langvarandi rafmagnsleysi er töluverður.

Ljóst er að ef það tekur nokkra mánuði að laga sæstreng er ekki samfélagslega ásættanlegt að rafmagnslaust sé allan þann tíma í Vestmannaeyjum. Reikna má með því að varaafsstöðvar og olíukatlar muni framleiða orku til þess að bæta upp fyrir þá raforku sem ekki er hægt að afhenda.

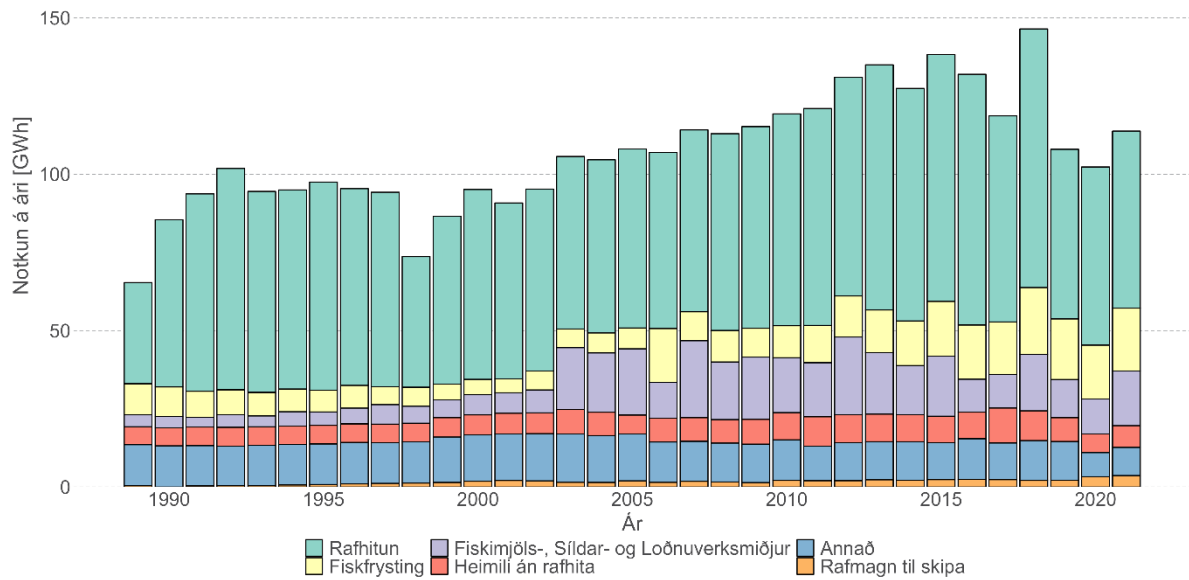
a. Orkuþörf í Vestmannaeyjum

i. Flokkar raforkunotkunar

Raforkunotkun í Vestmannaeyjum má skipta gróflega í nokkra flokka. Það eru:

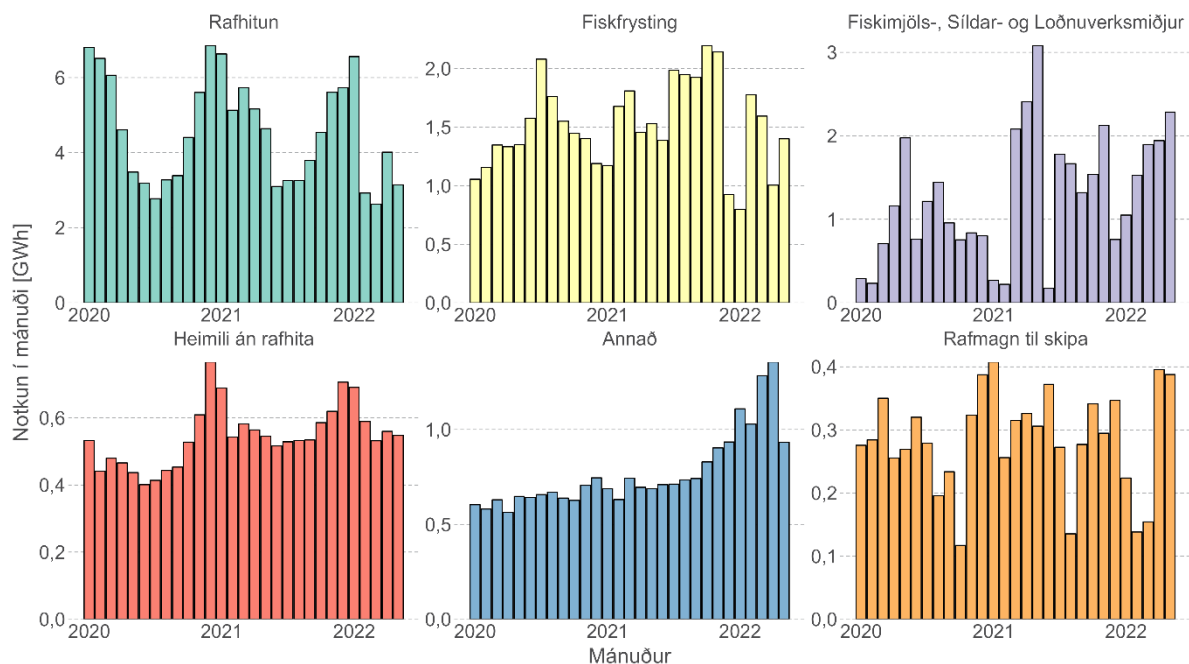
- Rafhitun
- Heimilisnotkun án rafhita
- Fiskimjölsverksmiðjur
- Fiskfrysting
- Rafmagn til skipa
- Annað

Söguleg raforkunotkun í Vestmannaeyjum er brotin niður eftir þessum flokkum og má sjá þá á mynd 3. Samdráttur varð í raforkuþörf til rafhitunar eftir 2019 vegna tilkomu varmadæla. Raforka til fiskfrystingar hefur farið vaxandi undanfarin ár en raforkuþörf fiskimjölsverksmiðja jókst mikið við rafvæðingu í kringum árið 2003. Rafmagn til skipa jókst um 2019 með rafvæðingu Herjólfis. Önnur raforkunotkun og heimilisnotkun án rafhita hefur verið nokkuð stöðug með árstíðabundnum sveiflum.



MYND 3 Heildarnotkun raforku í Vestmannaeyjum skv. notkunarflokkaskýrslum 1989-2021.

Töluverða árstíðarsveiflu má greina í raforkunotkun í Vestmannaeyjum. Árstíðarsveifluna má rekja til tveggja þátta. Annars vegar tíðarfars og hitastigs á Íslandi sem sveiflast með árstíðum og hins vegar fiskveiðitímabila.



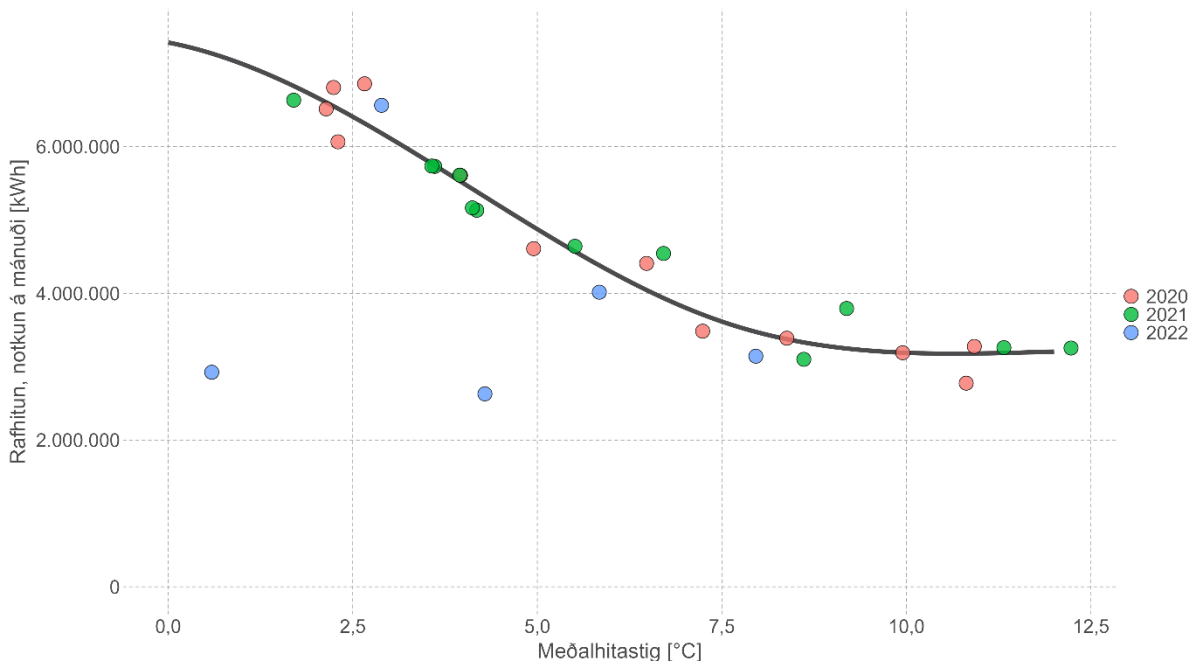
MYND 4 Notkun raforku eftir stærstu notkunarflokkum í Vestmannaeyjum skv. notkunarflokkaskýrslum 2020-2022.

Ljóst er að notkun raforku í hverjum mánuði er slembin stærð sem veltur á öðrum undirliggjandi breytum. Afleiðingar af bilun og skerðingu ráðast að stórum hluta á því hver þörfin er fyrir raforku þegar til skerðingar kemur. Til þess að áætla hver raforkunotkun í Vestmannaeyjum gæti verið í

mismunandi tilfellum er nauðsynlegt að skilja undirliggjandi orsakasamhengi á bak við raforkunotkun í Vestmannaeyjum. Um 80% af raforkunotkun í Vestmannaeyjum hefur verið vegna rafhitunar og fiskvinnslu síðustu 30 ár. Því er mjög mikilvægt að skoða hver breytileikinn í raforkunotkun þessara flokka getur verið.

Raforkunotkun til rafhitunar veltur fyrst og fremst á hitastigi hvers mánaðar og má því lýsa sem falli af meðalhitastigi hvers mánaðar í Vestmannaeyjum og má sjá niðurlandi fall að u.þ.b. 7,5 °C, sjá mynd 5. Fyrir herra meðalhitastig er raforkunotkun heimila nánast föst stærð sem breytist ekki með auknu meðalhitastigi.

Til þess að meta samband hitastigs og rafhitunar í Vestmannaeyjum er stuðst við tölfræði aðferð sem kallast „spline regression“¹⁵ með knot við 7,5 °C og miðað er við þriðja stigs margliðu. Á mynd 5 má sjá að tveir mánuðir skera sig alveg úr frá öðrum mánuðum árin 2020-2022. eru þetta febrúar og mars árið 2022 þar sem raforkunotkun er mun lægri en gera mætti ráð fyrir miðað við meðalhitastig þá mánuði. Er þetta líklega vegna raforkuskerðinga sem komu til þessa tilteknu mánuði. Ætla má að raforkunotkun hefði verið mun meiri ef ekki hefði komið til þeirra skerðinga. eru þeir mánuðir fjarlægðir úr gagnasettinu áður en samband hitastigs og raforkunotkunar er metið.



MYND 5 Samband rafhitunar og meðalhitastigs. Heimild: HS Veitur og Veðurstofa Íslands

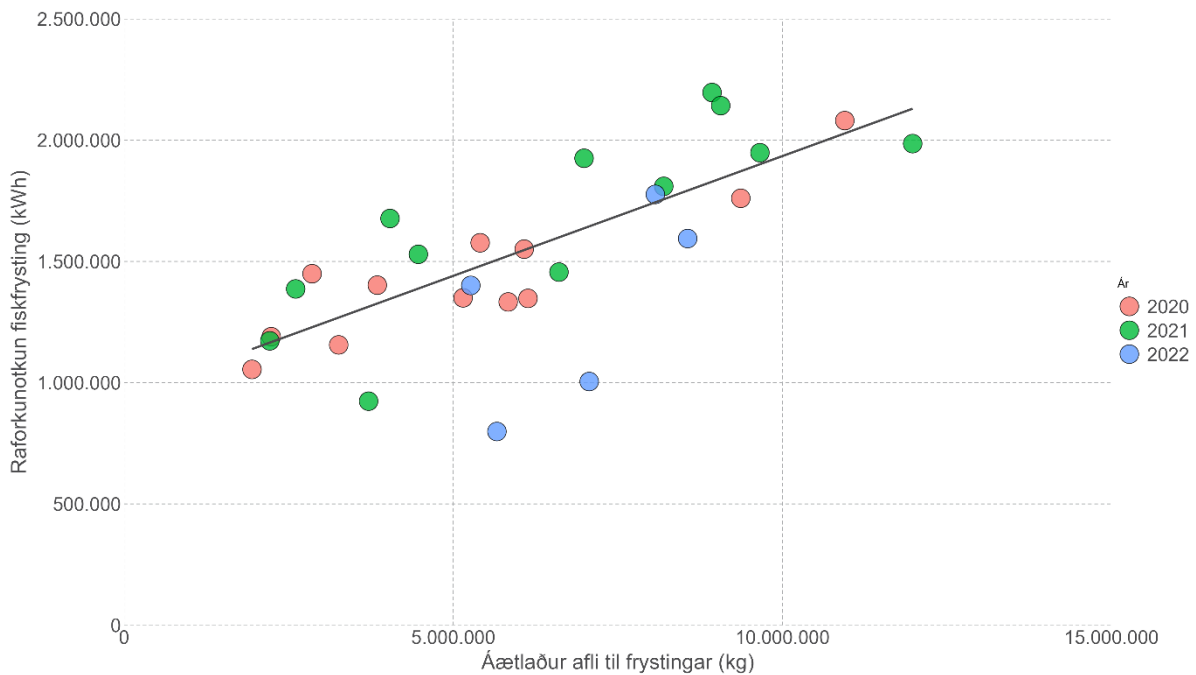
¹⁵<https://static1.squarespace.com/static/5ff2adbe3fe4fe33db902812/t/6062a083acbf82c7195b27d/1617076404560/ISLR%2BSeventh%2BPrinting.pdf#page=278>

Raforkunotkun vegna fiskvinnslu er tvíþætt, annars vegar vegna frystingar og hins vegar vegna bræðslu á fiski. Byggt á sögulegum gögnum um vinnsluaðferðir frá Hagstofu Íslands eru settar fram forsendur um ráðstöfun afla. Ljóst er að þessar forsendur eru ekki fullkomlega nákvæmar og ræðst ráðstöfun afla af tímasetningu veiða og aðstæðum hverju sinni. Út frá áætlaðri ráðstöfun afla og gögnum um löndun afla er tölfræðilegt samband raforkunotkunar og aflamagns metið.

TAFLA 6 Forsendur um ráðstöfun afla í Vestmannaeyjum

FISKTEGUND	HLUTFALL Í BRÆÐSLU	HLUTFALL Í FRYSTINGU
Gulllax	0%	100%
Karfi	0%	50%
Kolmunni	85%	15%
Loðna	90%	10%
Loðnuhrogn	0%	100%
Makríll	25%	75%
Norsk-íslensk síld	25%	25%
Síld	50%	50%
Ufsi	0%	100%
Ýsa	0%	100%
Þorskur	0%	100%

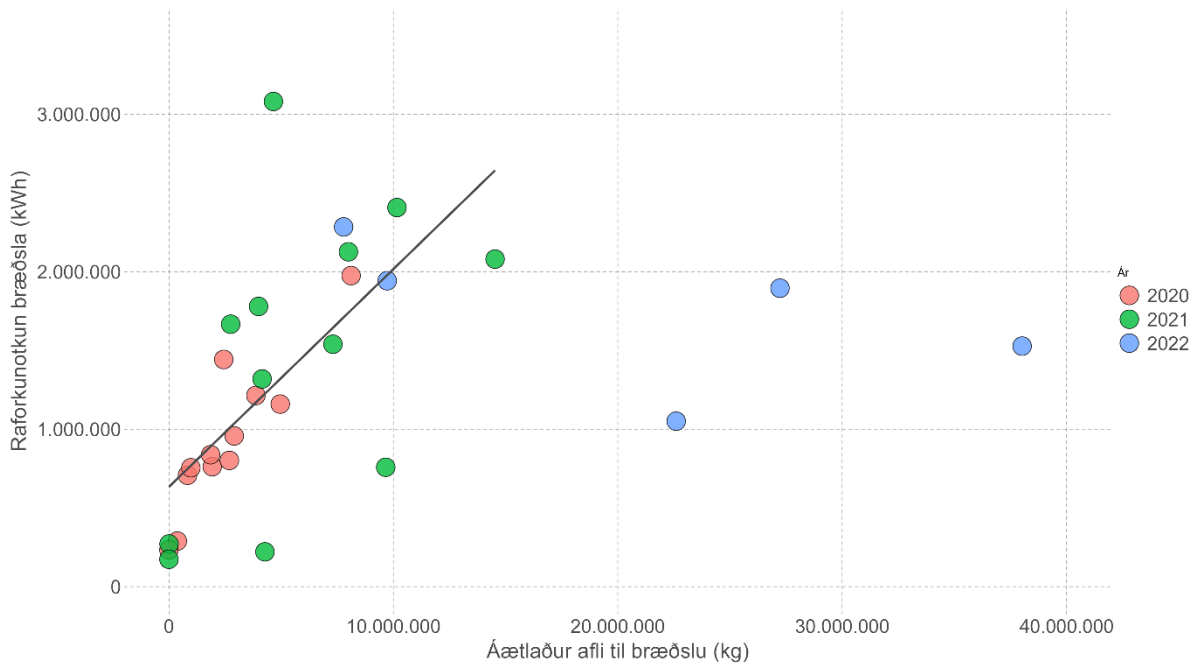
Þegar rauntölur um raforkunotkun í frystingu eru bornar saman við áætlað magn fiskafli til frystingar, líkt og gert er á mynd 6, má sjá nokkuð stöðugt línulegt samband á milli áætlaðs aflamagns og raforkunotkunar. Samband milli raforkunotkunar til fiskfrystingar og þess aflamagns sem gert er ráð fyrir að skili sér í frystingu er metið með einfaldri línulegri aðhvarfsgreiningu þar sem að febrúar og mars mánuður árið 2022 eru fjarlægðir sem útlagar. Að jafnaði eykst raforkunotkun um 0,099 kWh fyrir hvert auka kg af afla sem er fryst. Uppfyllir líkanið forsendur fyrir línulegri aðhvarfsgreiningu og er skýringarhlutfallið (e. R squared) 0,61.



MYND 6 Rauntölur um raforkunotkun til fiskfrystingar og áætlaður afli til fiskfrystingar janúar 2020 - maí 2022

Þegar raforkunotkun til bræðslu er skoðuð á sambærilegan hátt má sjá mun meiri dreifni á milli mánaða. Augljóst er að fyrstu mánuði ársins 2022, þegar mun meira var veitt af loðnu en árin á undan, var ekki til staðar næg raforka til að bræða það magn loðnu sem landað var í Vestmannaeyjum. Er línan sem sýnd er á mynd 7 er lína minnstu kvaðrata þegar fyrstu þrjú mánuðir ársins 2022 hafa verið fjarlægðir úr gagnasettinu. Út frá einfaldri línulegri aðhvarfsgreiningu má áætla að jafnaði aukist raforkunotkun um 0,138 kWh fyrir hvert kg af afla sem fer til bræðslu. Sjá má að einföld línuleg aðhvarfsgreining á ekki jafn vel þegar kemur að áætlun raforkunotkunar til bræðslu og fyrir fyrstingu, en líkanið uppfylli forsendur línulegrar aðhvarfsgreiningar með skýringahlutfallið 0,45. Skýringarhlutfallið bendir til þess að áætlað aflamagn útskýri tæplega helming af þeim breytileika (e. variation) sem er til staðar í gögnum um raforkunotkun til fiskbræðslu.

Ætla má að raforkunotkun fiskimjölsverksmiðja sé að hluta til utan ákvörðunarviðs fiskmjölsverksmiðjanna. Það er, út frá raforkuframleiðslu, stöðu flutningskerfisins og afhendingargetu í Vestmannaeyjum er raforkunotkun fiskimjölsverksmiðja sett ákveðin takmörk hverju sinni. Því gætu aðilar neyðst til þess að nýta olíu í stað raforku líkt og gerðist fyrstu mánuði ársins 2022.



MYND 7 Rauntölur um raforkunotkun til bræðslu og áætlaður afli til bræðslu janúar 2020 - maí 2022

Raforkunotkun sem fellur undir aðra flokka skiptist þannig að um 6-8% notkunar eru vegna heimila (án rafhitunar), um 3% eru vegna landtengingar Herjólfis og um 10-11% eru vegna annarra notkunarflokka.

Notkun heimila sýnir sambærilega árstíðarsveiflu og notkun vegna rafhitunar. Þó er munurinn á milli raforkunotkun um vetur og sumar minni en þegar kemur að rafhitun. Samband hitastigs og almennrar raforkunotkunar heimila er ekki jafn sterkt og samband hitastigs og rafhitunar. Jafnframt er almenn notkun heimila mun stöðugri á milli ára en raforkunotkun vegna hitunar. Ætla má því að árstíðarsveifla í almennri raforkunotkun heimila sé vegna samfélagslegra áhrifa og vegna dagsbirtu en hitastigsins sjálfs.

Rafmagn til skipa hefur verið á milli 0,2 GWh og 0,4 GWh flesta mánuði árin 2020-2022. Í samhengi heildarnotkunar raforku er mánaðarsveifla í raforkunotkun til skipa lítil. Því verður hér gert ráð fyrir að 350 MWh þurfi til að anna raforkuþörf Herfjólfs.

Að lokum eru það um 10% raforkunotkunar sem falla ekki undir þá notkunarflokka sem áður hafa verið ræddir. Sögulega hefur notkun þeirra verið nokkuð stöðug í kringum 12 GWh á ári eins og sjá má á mynd 3. Dróst raforkunotkunin mikið saman árið 2020 og 2021, líklega vegna Covid-19 en hefur hún farið vaxandi á ný líkt og sjá má á mynd 4. Hér er gert ráð fyrir að notkun annarra notkunarflokka sé að meðaltali 1 GWh á mánuði. Áætluð raforkunotkun eftir mánuðum er sýnd hér að neðan á mynd 8.

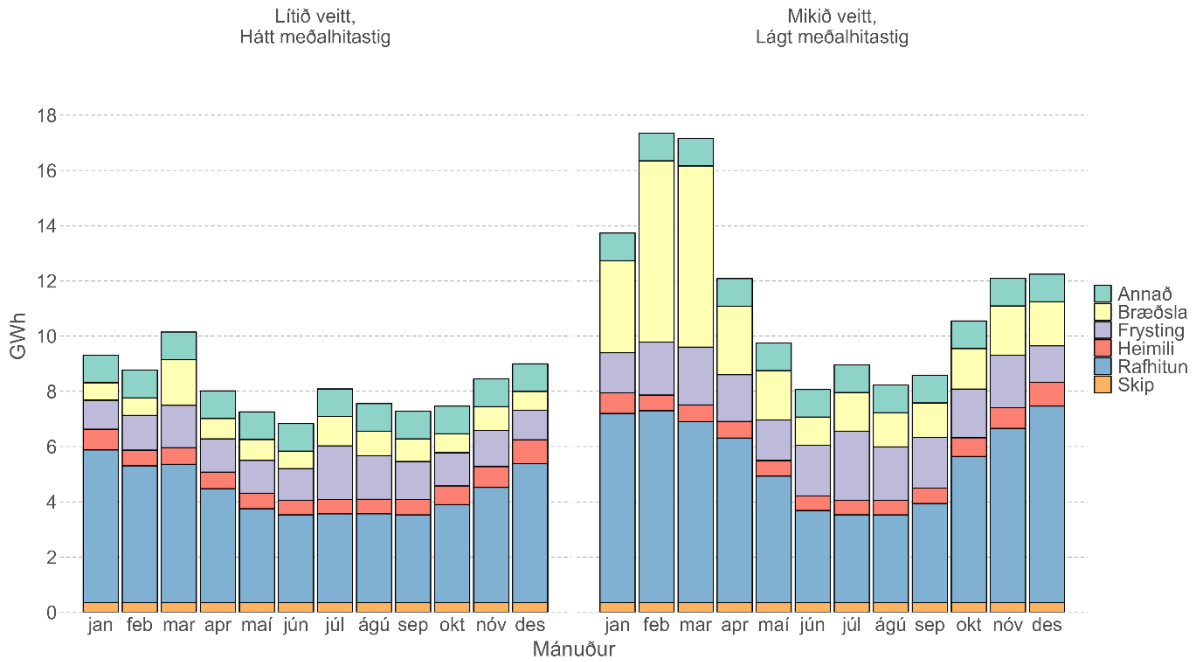
ii. Sviðsmyndir raforkunotkunar

Samfélagslegar afleiðingar af rafmagnsleysi til lengri tíma eru breytilegar eftir því hvert hitastig er og hversu mikið er veitt hverju sinni. Sjá má raunverulegt dæmi um þetta úr gögnum fyrir upphaf ársins 2022 þar sem mikið var veitt en ekki var til staðar raforka til þess að bræða þá loðnu sem veidd var. Er ljóst að takmörkun á afhendingu raforku í upphafi árs 2022 kom sér mjög illa þegar horft er til samfélagslegra áhrifa. Mikið var veitt af fisk þessa mánuði og ætla má að umsvif fiskvinnslu hafi verið sérstaklega mikil í upphafi árs 2022. Raforkunotkun til fiskbræðslu á sama tímabili breyttist þó lítið frá fyrri mánuðum líkt og sjá má á mynd 7. Því má ætla að olíunotkun hafi aukist í staðinn fyrir raforkunotkun með tilheyrandi ytri áhrifum á samfélagið.

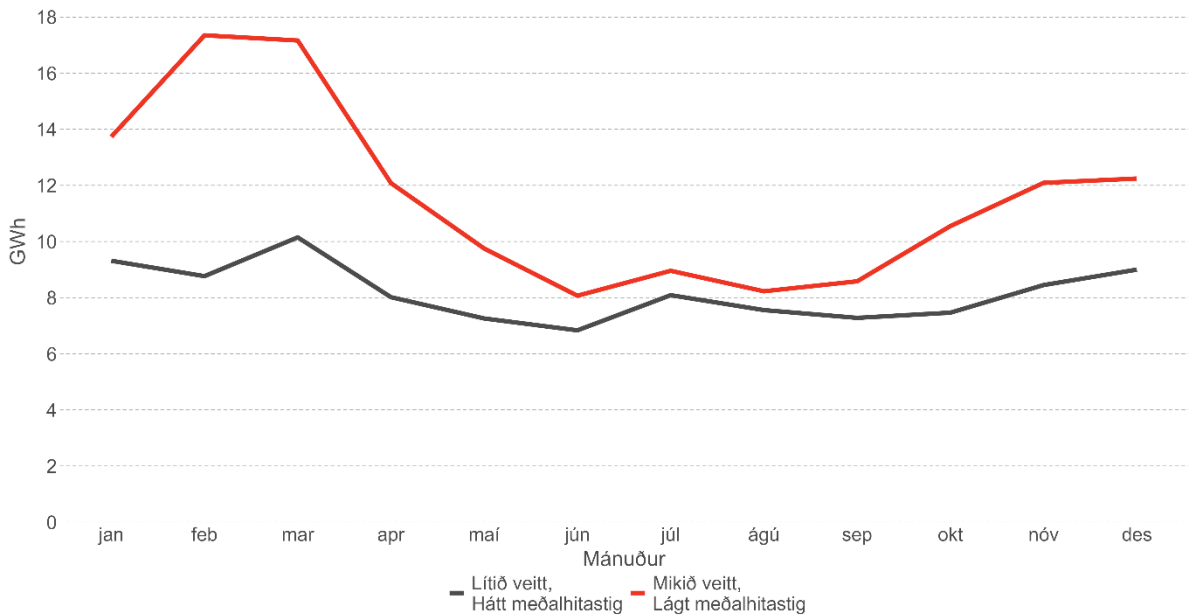
Til þess að átta sig betur á hvernig raforkuþörf eftir mánuðum getur verið breytileg eftir því hvernig undirliggjandi breytur þróast verður hér stuðst við einfalda sviðsmyndagreiningu. Skoðaðar verða tvær sviðsmyndir.

1. Mikið veitt, Meðalhitastig lágt → Raforkuþörf mikil
2. Lítið veitt, Meðalhitastig hátt → Raforkuþörf lítil

Sýna þessar sviðsmyndir neðri og efri mörk þegar kemur að alvarleika þess að ekki sé hægt að afhenda raforku. Miðað er við söguleg gögn um meðalhita eftir mánuðum og aflu lönduðum í Vestmannaeyjum eftir mánuðum og horft til 5 og 95 hundraðshlutamarka fyrir hvern mánuð.



MYND 8 Áætluð raforkunotkun sviðsmynda eftir notkunarflokkum og mánuðum

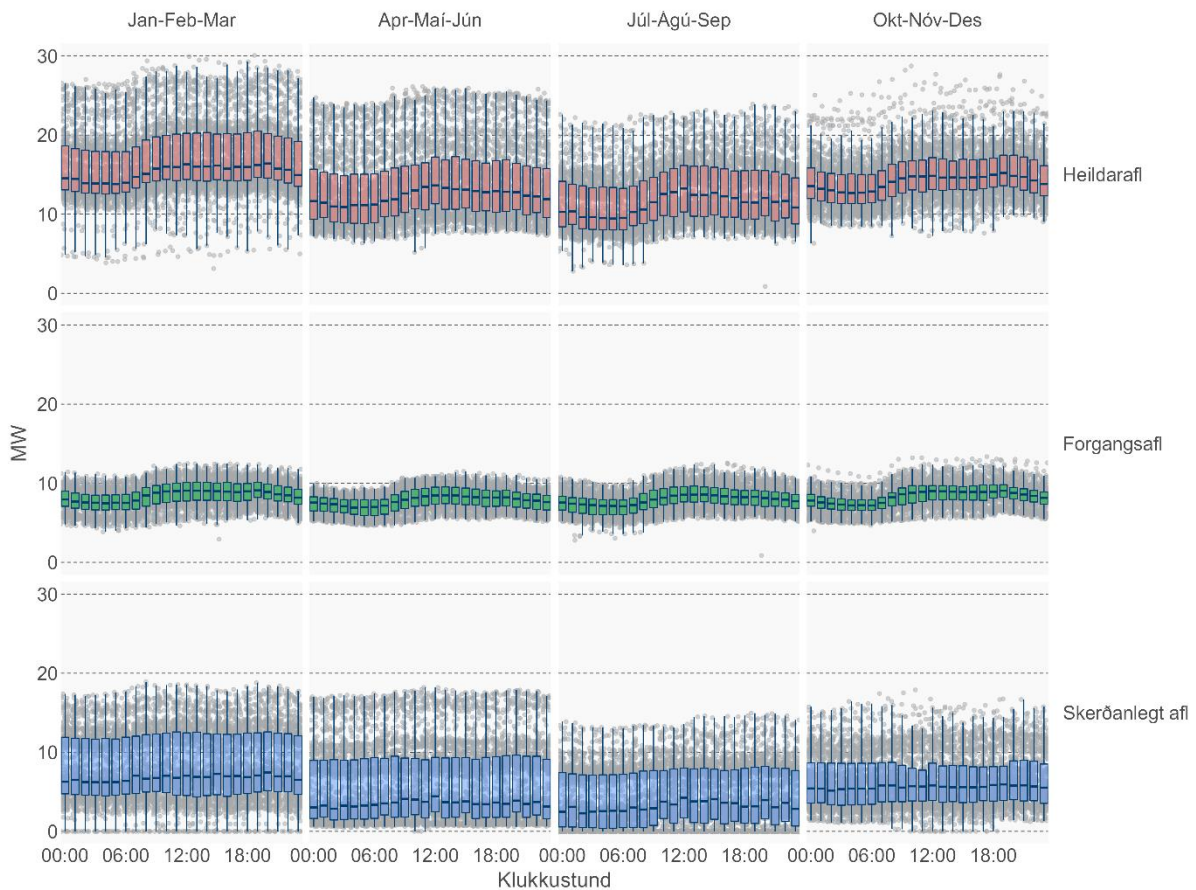


MYND 9 Áætluð raforkunotkun sviðsmynda eftir mánuðum

b. Aflþörf í Vestmannaeyjum

Ef horft er til langvarandi rafmagnsleysis ræður aflþörf miklu um hversu margar varaafsvélar þarf til þess að uppfylla þörf íbúa og atvinnulífs. Segja má að aflþörfin ráði hversu margar varaafsvélar þurfa að vera á staðnum.

Afhent afl í Vestmannaeyjum niður á klukkustundir árin 2018-2020 má sjá á mynd 10. Þar má sjá að hámarksafl sem afhent hefur verið er um 30 MW í janúar til mars. Algengara er þó að aflþörfin sé minni en kassaritið sýnir að fyrir helming daga er aflþörf á milli 12 og 20 MW. Rafhitun og fiskvinnsla er að miklu leyti skerðanleg orka og sjá má að töluvert meiri sveifla er á aflþörf þar en fyrir forgangsorku. Hafa ber í huga að fiskvinnsla var í lágmarki árin 2019 og 2020 sem skekkt gæti myndina að hluta til.



MYND 10 Afhent afl í Vestmannaeyjum 2018-2020 eftir mánuðum og klukkustundum.

Nýtingartími raforku út frá heildarorkumagni og afltoppi árána 2018-2020 má sjá í töflu 7. Nýtingartími lækkar mikið eftir 2018 með tilkomu varmadælu sem dró mikið úr orkunotkun til rafhitunar.

TAFLA 7 Sögulegar tölur um áætlaðan nýtingartíma raforku í Vestmannaeyjum

ÁR	HÁMARKSAFL (MW)	HEILDARORKA (MWH)	ÁÆTLAÐUR NÝTINGARTÍMI (KLST)
2018	30,08	146.441	4.869
2019	26,42	107.941	4.086
2020	28,74	110.057	3.830

Til samanburðar er heildarorkumagn í sviðsmyndinni þar sem mikið er veitt og almennt kalt í veðri 138.000 MWh en orkunotkun í sviðsmyndinni þar sem hlýtt er í veðri og lítið veitt er 98.000 MWh.

Sjá má að sviðsmynd fyrir mikla raforkunotkun í Vestmannaeyjum líkt og lýst var í kafla 3.a.ii, mikið veitt og kalt í veðri, er um 95% af raforkunotkun ársins 2018. Helsta ástæða þess er að árið 2019 var vígð varmadælustöð í Vestmannaeyjum. Dregur varmadæla úr raforkuþörf til framtíðar og ætla má að töluverð breyting þurfi að vera á atvinnustarfsemi í bænum til þess að raforkuþörf í Vestmannaeyjum nái sömu hæðum og fyrir varmadælu.

Sviðsmynd um minni raforkunotkun í kafla 3.a.ii, lítið veitt og heitt í veðri, eru um 91% af raforkunotkun ársins 2019. Undirliggjandi breytur árið 2019 var mjög nálægt því að vera líkt og lýst er í forsendum. Meðalhiti var 6,5°C sem er hærra en að jafnaði, árin 2018 og 2020 var meðalhiti 6,0°C. Janframt var engin loðna veidd árið 2019 og raforkunotkun bræðslna var í lágmarki. Því er eðlilegt að notkun árið 2019 sé mjög sambærilegt sviðsmyndinni um litlar fiskveiðar og hátt hitastig.

4 SAMFÉLAGSLEGUR KOSTNAÐUR VIÐ SKERÐINGU

Í þessum kafla er samfélagslegur kostnaður vegna skerðinga á raforkuafhendingu í Vestmannaeyjum metinn. Samfélagslegur kostnaður vegna raforkuskerðinga er margþættur og breytilegur eftir aðstæðum. Hér er samfélagslegum kostnaði skipt í þrennt

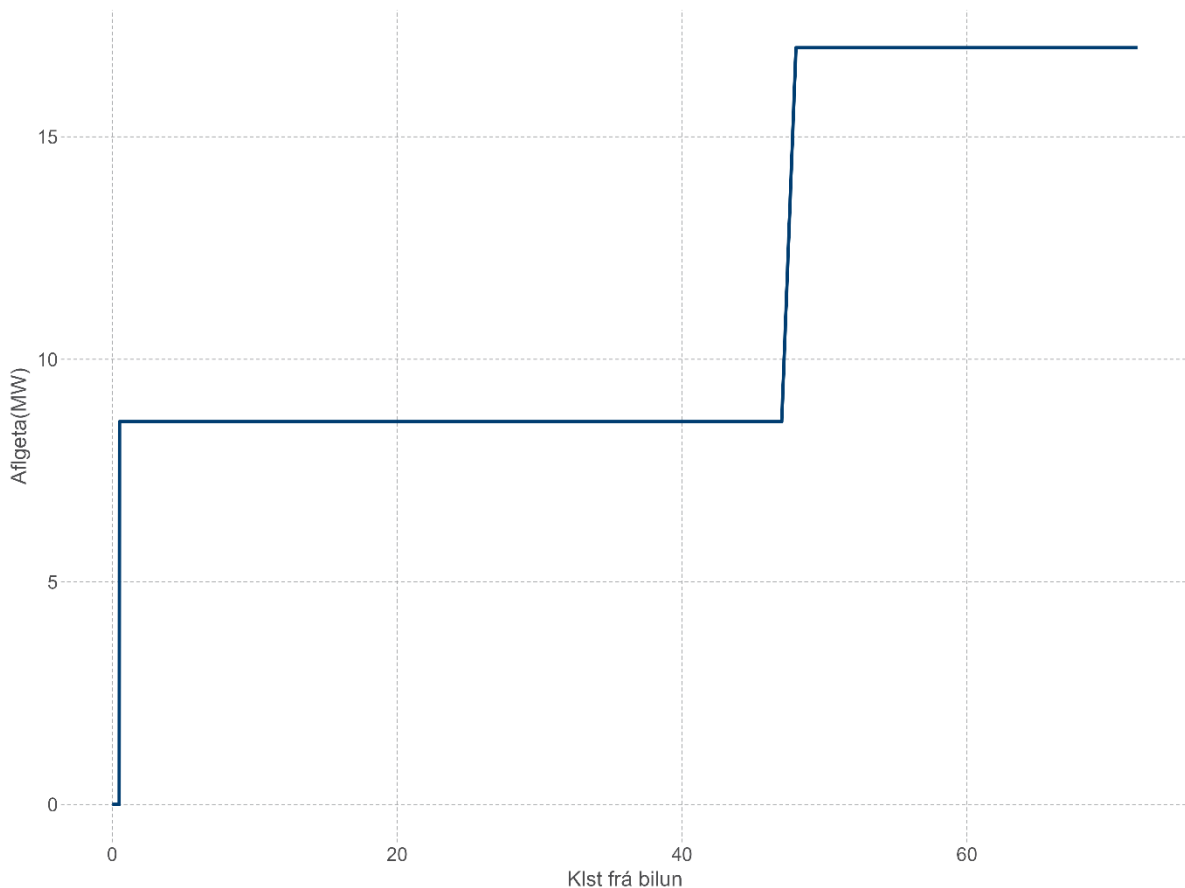
- Samfélagslegt verðmæti skertrar orku
 - Þau beinu og óbeinu áhrif sem fyrirtæki og heimili verða fyrir vegna þess að ekki er hægt að afhenda raforku metin til fjár
- Kostnaður við rekstur varaafsstöðva
 - Ef skerðing varir til lengri tíma er ljóst að framleiða verður raforku með eldsneyti til að mæta skertri afhendingu. Er kostnaðurinn þá framleiðslukostnaður orku með varaafslvélum sem ganga fyrir diesel olíu.
- Losun vegna reksturs varaafsstöðva og áætluð ytri áhrif vegna losunar
 - Framleiðsla á orku með varaafslvélum hefur ýmis neikvæð áhrif líkt og aukna losun gróðurhúsalofttegunda. Þessi áhrif er mikilvægt að taka með þegar verið er að skoða samfélagslegan kostnað.

Þeir þættir sem nefndir eru hér að ofan og eru skoðaðir í kaflanum eru tilraun til að mæla kostnað vegna ákveðinna atburða. Þetta er mat á skammtímakostnaði, það er þeim kostnaði sem samfélagið verður fyrir á tiltölulega skömmum tíma. Auk þeirra þátta sem hér eru skoðaðir er ljóst að skert afhendingaröryggi hefur einnig afleiðingar til lengri tíma sem mun erfiðara er að mæla. Takmörkuð flutningsgeta og skerðingar á afhendingu geta komið í veg fyrir að atvinnustarfsemi byggist upp í samfélögum. Ómögulegt er að meta nákvæmlega hvaða áhrif einstaka skerðingar hafa á takmörkun framtíðar uppbyggingar en mögulegt er að fyrirtæki hugsi sig tvisvar um ef afhendingaröryggi er minna æskilegt er.

a. Afleiðing bilunar í flutningskerfi

Ef til bilunar kemur sem skerðir afhendingargetu raforku í Vestmannaeyjum er nauðsynlegt að uppfylla þá afl- og orkuþörf sem líklegt er að verði til staðar með rekstri varaafsvéla. HS-Veitur eru með 5 MW varaafli í Vestmannaeyjum sem ræsa má á innan við klukkutíma. Landsnet á 10 varaafsvélar, sem eru 1,2 MW hver vél, og þar af eru 3 vélar staðsettar í Vestmannaeyjum en um 2 daga tæki að flytja fleiri vélar á staðinn. Ef allar varaafsvélar Landsnets eru staðsettar í Vestmannaeyjum ásamt því varaafli sem HS-Veitur eru með á staðnum er heildaraflgeta mögulegs varaafls um 17 MW. Gott er þó að hafa í huga að ef allar varaafsvélar eru í notkun í Vestmannaeyjum er orkuöryggi annara staða á Íslandi stofnað í hættu.

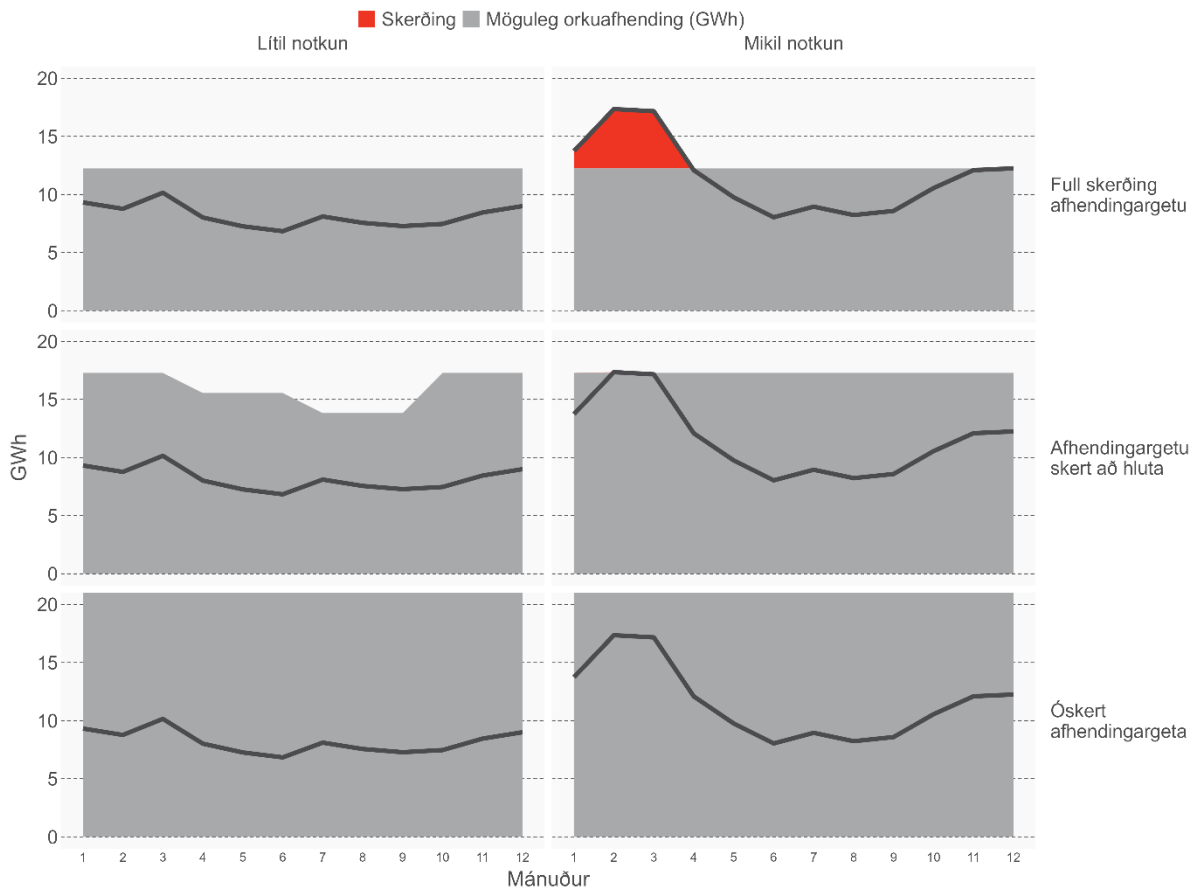
Dæmi um þróun aflgetu ef til skerðingar kemur má sjá á mynd 11. Hér er sýnd aflgeta ef engin raforkuafhending er möguleg í Vestmannaeyjum, t.d. ef báðir sæstrengir í núverandi kerfi bila. Veldur það fullri skerðingu í um hálf tíma og í tvo daga er afhendingargeta virkilega takmörkuð. Það sem eftir er, þar til hægt er að laga bilun, er áætluð aflgeta því um 17 MW.



MYND 11 Áætluð þróun aflgetu ef afhendingargeta frá raforkukerfinu er engin

Mögulegt er að til skerðinga komi þegar allt tiltækt varaafli er í notkun. Ef raforkunotkun er mjög mikil er ljóst að afl sem framleiða má með varaafli er ekki nægilegt til að mæta allri notkun, því getur komið til skerðinga ef raforkuþörf er mikil þrátt fyrir að varaafli sé til staðar.

Á mynd 12 má sjá þá orku sem áætlað er að afhenda megi samanlagt í gegnum raforkukerfið og með öll aðgengilegu varaafli við mismunandi aðstæður. Sjá má að þegar afhending er skert að hluta en þá getur samanlögð aflgeta VM1 og varaafli annað annað allri orkuþörf Vestmannaeyja. Ef hins vegar afhendingargeta er skert að fullu en orkuþörf bræðslna og til rafhitunar er mikil nægir varaaflið ekki til að framleiða þá orku sem þarf og nauðsynlegt er að skerða afhendingu til notenda



MYND 12 Áætluð orka sem hægt er að afhenda og áætluð skerðing við mismunandi afhendingargetu og sviðsmyndir notkunar

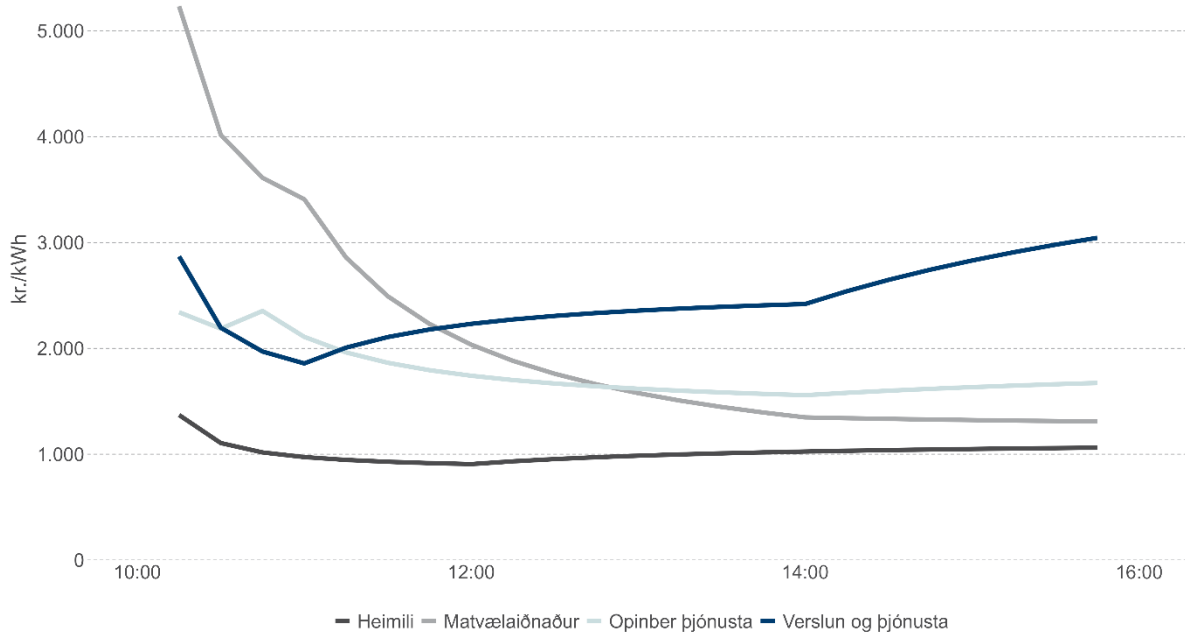
Í útreikningum er miðað við að skerðing á afhendingu orku til notenda sé í hlutfalli við heildarorkuþörf notenda í mánuði og þann tíma sem afhendingargeta er skert.

b. Samfélagslegt verðmæti skertrar orku

Kostnaður samfélagsins vegna þess að ekki er hægt að afhenda raforku er margvíslegur, það er bæði beinn kostnaður vegna skemmda sem verða eða óbeinn kostnaður vegna óþæginda sem einstaklingar og fyrirtæki verða fyrir. Jafnframt getur orðið framleiðslutap og ýmis tækifæri tapast vegna raforkuskorts.

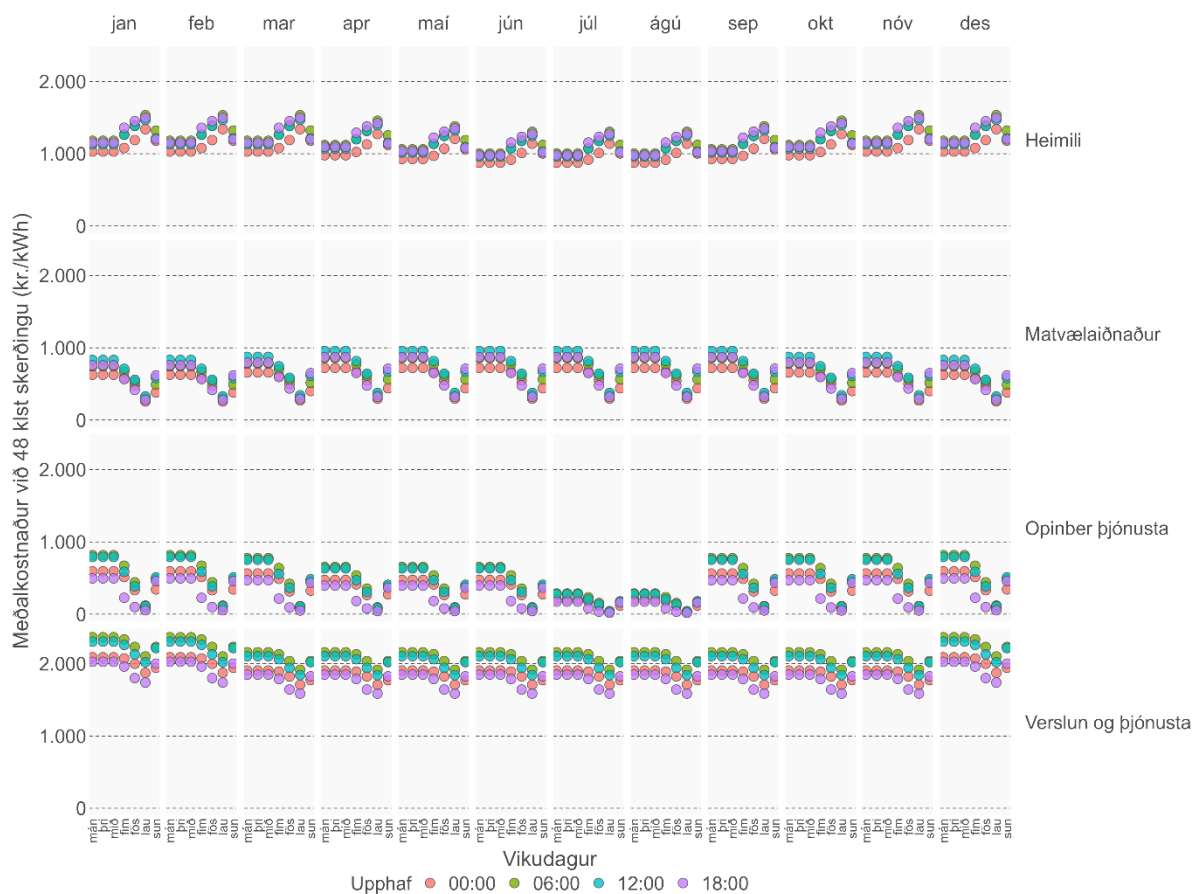
Stærð þessara þátta er breytileg eftir atvinnugreinum, árstíðum, vikudögum og tíma innan sólarhrings. Töluverð vinna hefur verið lögð í að reyna að kortleggja verðmætri skertrar orku (e. Value of Lost Load) á Íslandi. Þeir helstu atvinnugreinaflokkar, ásamt heimilum, sem verða fyrir skerðingu ef raforku er ekki hægt að afhenda í Vestmannaeyjum eru matvælaíðnaður, verslun og

þjónusta og opinber þjónusta. Á mynd 13 má sjá samfélagslegan kostnað, mældan í kr./kWh vegna skerðingar sem hefst kl 10:00 á þriðjudegi í janúar og varir í 6 klst.



MYND 13 Áætlaður samfélagslegur kostnaður vegna skerðingu raforku sem hefst á þriðjudegi í janúar kl.10:00

Á mynd 14 má sjá meðalkostnað vegna 2 daga raforkuskorts eftir atvinnugrein, mánuði, vikudegi og upphafsklukkustund raforkuskorts. Sjá má að verðmæti raforkunnar er mun hærra fyrir heimili um helgar og á kvöldin. Sjá má að verðmæti raforku í matvælaíðnaði er mun lægra um helgar. Fyrir opinbera þjónustu er mikill munur á virkum dögum og helgum og jafnframt er verðmæti yfir sumarmánuði töluvert lægra en yfir vetrarmánuði.



MYND 14 Meðalkostnaður (kr./kWh) vegna 48 klst skerðingar eftir atvinnugrein, mánuði, vikudegi og upphafsklukkustund raforkuskorts

Ómögulegt er að tímasetja hvenær fræðileg skerðing myndi eiga sér stað innan vikunnar og sólarhringsins. Því er stuðst við meðalkostnað við skerðingu raforku fyrir hvern mánuð og hverja atvinnugrein vegna 0,5 klst skerðingar og 48 klst skerðingar í útreikningum.

TAFLA 8 Meðalvirði skerðingar sem endist í 30 mínútur eftir atvinnugreinum og mánuðum (kr./kWh)

MÁNUÐUR	HEIMILI	MATVÆLAÍÐNAÐUR	OPINBER ÞJÓNUSTA	VERSLUN OG ÞJÓNUSTA
Jan	1.380	2.413	621	1.386
Feb	1.380	2.413	621	1.386
Mar	1.380	2.534	590	1.264
Apr	1.311	2.775	497	1.264
Maí	1.242	2.775	497	1.264
Jún	1.173	2.775	497	1.264
Júl	1.173	2.775	217	1.264
Ágú	1.173	2.775	217	1.264
Sep	1.242	2.775	590	1.264
Okt	1.311	2.534	590	1.264
Nóv	1.380	2.534	590	1.264
Des	1.380	2.413	621	1.386

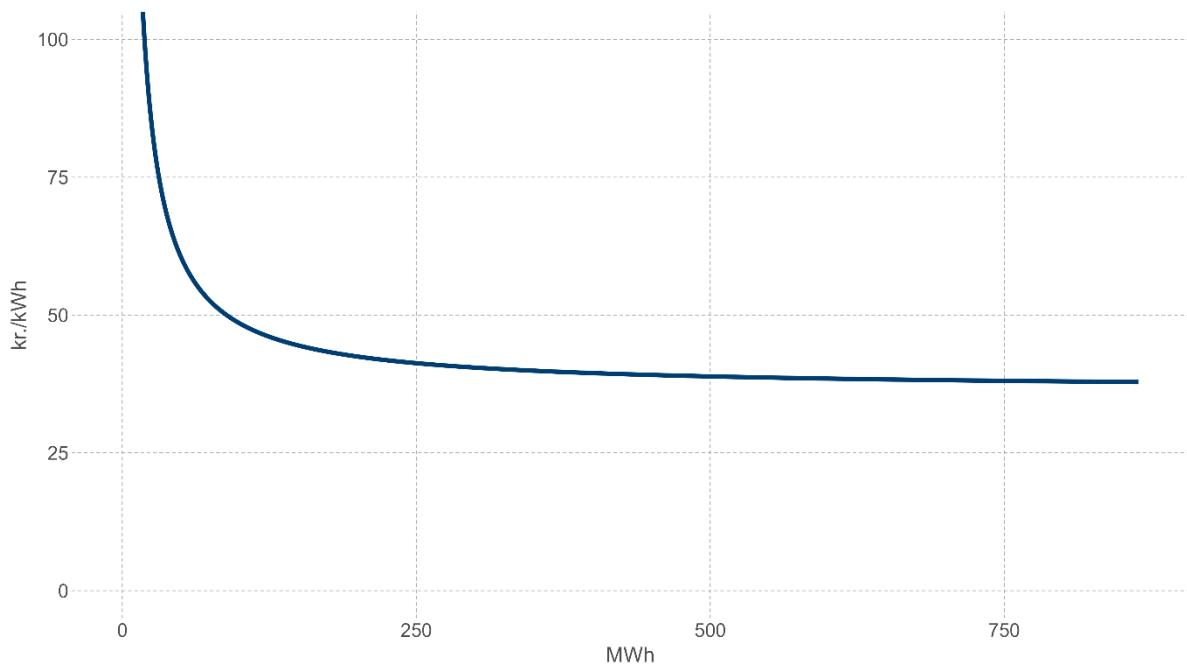
TAFLA 9 Meðalvirði skerðingar sem endist í 48 klukkustundir eftir atvinnugreinum og mánuðum (kr./kWh)

MÁNUÐUR	HEIMILI	MATVÆLAIÐNAÐUR	OPINBER ÞJÓNUSTA	VERSLUN OG ÞJÓNUSTA
Jan	1.235	594	482	2.116
Feb	1.235	594	482	2.116
Mar	1.235	624	458	1.930
Apr	1.174	683	386	1.930
Maí	1.112	683	386	1.930
Jún	1.050	683	386	1.930
Júl	1.050	683	169	1.930
Ágú	1.050	683	169	1.930
Sep	1.112	683	458	1.930
Okt	1.174	624	458	1.930
Nóv	1.235	624	458	1.930
Des	1.235	594	482	2.116

c. Kostnaður við rekstur varaafsstöðva

Kostnaður við að framleiða orku í varaafsstöðvum í stað þess að fá orku afhenta frá flutningskerfinu er margvíslegur. Helstu kostnaðarliðir sem eru hluti af greiningunni:

- Olíukostnaður (miðað er við meðalverð ársins 2022)
- Flutningskostnaður varaafsstöðva
- Starfsmannakostnaður vegna umsjónar með vélum í fullum rekstri
- Viðhaldskostnaður vegna véla í fullum rekstri



MYND 15 Áætlaður kostnaður á framleidda kWh með varaafli sem fall af heildarorkumagni sem framleitt er í mánuði mælt í MWh

d. Samfélagslegt verðmæti losunar vegna varaafsstöðva

Ásamt samfélagslegum kostnaði við skerta afhendingargetu raforku og beinum kostnaði við rekstur varaafsstöðva veldur sú losun gróðurhúsalofttegunda sem rekstur varaafsstöðva hefur í för með sér samfélagslegum kostnaði.

Magn losunar fer eftir hversu mikla orku þarf til að framleiða með varaafsvélum. Ef framleidd er orka miðað við full afköst varaafs er losun koltvísýrings á mánuði vegna bruna olíu um 9 kt CO₂ ígilda. Eða rúmlega 100 kt á ári. Það er stærðargráða sem hefði töluverð áhrif á losunarbókhald Íslands en til samanburðar var losun frá vegasamgöngum árið 2021 um 860 kt CO₂ ígilda¹⁶.

Ómögulegt er að setja nákvæma tölu á kostnað samfélagsins vegna losunar gróðurhúsalofttegunda. Hér er stuðst við áætlað skuggavirði kolefnis samkvæmt viðmiðum Evrópusambandsins¹⁷. Er miðað við virði losunar árið 2022 á verðlagi þess árs.

e. Samfélagslegt verðmæti bilunar

Til þess að áætla samfélagslegt verðmæti þess að ekki er hægt að nýta raforku í Vestmannaeyjum eru þrír mjög ólíkir kostnaðarliðir skoðaðir. Rekstur varaafsstöðva er beinn kostnaður sem þarf að greiða og er kostnaðurinn við hverja framleidda kWh töluvert hærri en raforkukostnaður á Íslandi. Er kostnaður við langtíma raforkuframleiðslu sá beini kostnaður sem fellur til vegna framleiðslu á orku með varaafsstöðvum.

Samfélagslegur kostnaður vegna skerðinga er ekki jafn ápreifanlegur og kostnaður við rekstur varaafsstöðva. Kostnaðurinn er mjög breytilegur eftir hvenær skerðing á sér stað og hvaða afleiðingar skerðing hefur í för með sér. Kostnaður við skert álag (VoLL) er vel þekkt hugtak og er stuðst við það hér til þess að meta samfélagslegan kostnað við styttri skerðingar. Það eru skerðingar sem eiga sér stað áður en hægt er að virkja varaafli eða tímabundnar skerðingar sem verða því að varaafli er ekki nægilega mikið miðað við afltoppa.

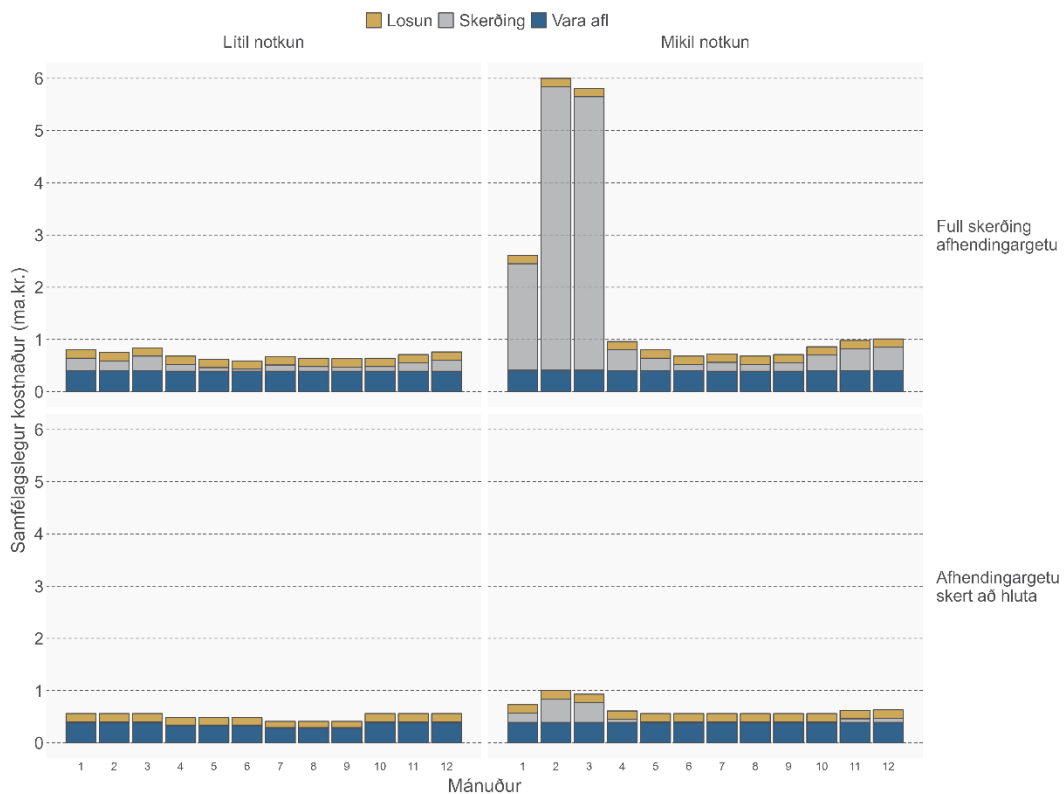
Að lokum er það kostnaður sem verður vegna losunar sem er tilkomin vegna bruna á olíu í stað þess að nýta raforku. Er þessi afleiðing raforkuskerðingar sú sem er minnst ápreifanleg og ljóst að bruni olíu og sú kolefnislosun sem verður vegna þess hefur ekki beinar afleiðingar fyrir Vestmannaeyjar. Í staðinn bætist kolefnislosunin við þá losun sem verður á heimsvísu og hefur afleiðingar um alla jörðina. Mjög erfitt er að verðleggja þau áhrif sem losun kolefnisígilda hefur en er hér gerð tilraun til þess að færa losun yfir í krónutölu samkvæmt alþjóðlegum viðmiðum.

¹⁶ <https://ust.is/loft/losun-grodurhusalofteggunda/bradabirgdatolur/>

¹⁷ https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/guides/vademecum_2127/vademecum_2127_en.pdf

5 SAMFÉLAGSLEGT VERÐMÆTI AUKINS AFHENDINGARÖRYGGIS

Fjárfesting í raforkukerfinu til þess að auka afhendingaröryggi dregur ekki beint úr þeim samfélagslegu áhrifum sem verða ef til bilana og skerðinga kemur. Hins vegar auka fjárfestingar afhendingaröryggi og draga úr líkunum á að til skerðinga komi og draga þannig úr væntum kostnaði. Áætlaður kostnaður samfélagsins vegna skertrar afhendingargetu má sjá á mynd 16. Sjá má á myndinni að samfélagslegur kostnaður vegna skertrar afhendingargetu getur verið á breiðu bili. Áætlaður kostnaður er frá rúmum 500.000.000 kr. á mánuði og allt að 6.000.000.000 kr. á mánuði.



MYND 16 Áætlaður samfélagslegur kostnaður vegna skertrar afhendingargetu í Vestmannaeyjum

Til þess að átta sig á áhrifum fjárfestinga þarf að reikna væntigildi kostnaðar. Það er samfélagslegur kostnaður í mánuði ef til skerðinga kemur, margfaldað með þeim líkum sem eru á að vera í tiltekinni aflstöðu líkt og farið var yfir í kafla 2.

Skilgreining væntigildis kostnaðar á ári:

$$E[X] = \sum_{i=1}^{12} x_i p_i$$

Þar sem að x_i er samfélagslegur kostnaður vegna skerðinga, veltur á afhendingargetu og notkun. p_i eru líkur á að vera í aflstöðu og breytist með áætlaðri styrkingu flutningskerfisins.

Væntigildi samfélagslegs kostnaðar á ári má sjá í töflu 10.

TAFLA 10 Væntigildi samfélagslegs kostnaðar á ári vegna skertrar afhendingargetu í Vestmannaeyjum

	MIKIL NOTKUN	LÍTIL NOTKUN
Núverandi kerfi án VM4	116.525.045	83.829.891
Núverandi kerfi með VM4	15.894.881	6.706.928
Framtíðar kerfi án VM4	102.257.063	78.344.010
Framtíðar kerfi með VM4	1.626.899	1.221.047

6 NIÐURSTAÐA OG UMRÆÐUR

Breyting í væntum samfélagslegum kostnaði vegna skerðingar gefur vísbendingu um hver efnahagslegur ávinningur af auknu afhendingaröryggi af fjárfestingu er.

Ef núverandi kerfi með og án VM4 eru borin saman dregst væntigildi samfélagslegs kostnaðar á ári saman um 77-100 milljónir í kerfi með tilkomu VM4. Meðaltalið er því um 89 milljónir sem gefur vísbendingu um hvert samfélagslegt virði aukinnar afhendingargetu í kerfinu verður með tilkomu VM4 í rekstur.

Styrking í flutningskerfi á landi án fjárfestingar í VM4 veldur lækkun á væntum samfélagslegum kostnaði á ári um 5-14 milljónir og er meðaltalið um 10 milljónir. Mun fjárfesting í flutningskerfinu á landi draga verulega úr fjölda atvika sem valda því að ekki er hægt að koma orku til Vestmannaeyja. Hins vegar eru skerðingar á afhendingu vegna bilana á landi oftast þess eðlis að þær vara stutt og samfélagslegur kostnaður við þær því hlutfallslega ekki mikill. Stærstur samfélagslegur kostnaður felst í langvarandi skerðingu sem verður ef sæstrengur til Vestmannaeyja bilar, fjárfesting í flutningskerfi á landi hefur engin áhrif á þær líkur.

Fjárfesting í VM4 og styrking flutningskerfis á landi dregur úr árlegum væntum kostnaði vegna skertrar afhendingargetu um 83-115 milljónir og er meðaltalið því um 99 milljónir. Ljóst er að þessi kostur gerir það að verkum að líkur á að afhendingargeta sé skert í Vestmannaeyjum er nánast 0% líkt og sjá má í töflu 5, því verður væntigildi kostnaðar mjög lágt.

Þrátt fyrir að líkur á langvarandi skertri afhendingargetu séu litlar miðað við núverandi raforkukerfi getur samfélagslegur kostnaður af slíkum atburði orðið mjög mikill. Því hefur fjárfesting í sæstreng, sem dregur úr líkum á langvarandi skerðingu, mun meiri áhrif á væntan samfélagslegan kostnað en fjárfesting í flutningskerfinu á landi, sem dregur úr líkum og alvarleika skemmri skerðinga.

Ljóst er að VM4 hefur fleiri jákvæð samfélagsleg áhrif en einungis aukið afhendingaröryggi. Aukið afhendingaröryggi og aukin aflgeta eykur líkur á og skapar tækifæri til atvinnuuppbyggingar. Nauðsynlegt er að hafa þá þætti í huga þegar farið er í kostnaðar- og ábatamat. Byggt á grófu kostnaðarmati EFLU myndi VM4 kosta um 2,6 milljarða í framkvæmd.

TAFLA 11 Forsendur fyrir grófu kostnaðarmati VM4

Kostnaðaráætlun fyrir verklegar framkvæmdir	
Dagsetning áætlunar:	14.11.2022
Innifalið í áætlun:	66 kV jarðstrengur frá tengivirkinu Rimakoti að Landeyjasandi, sæstrengur þaðan til Vestmannaeyja og jarðstrengur frá landtökunni yfir í tengivirki Landsnets í Vestmannaeyjum. Öll vinna við að leggja strengina og tengja er innifalinn ásamt öllu efni sem þarf. Einnig vinna við að hanna lögnina, undirbúa verkið og eftirlit með framkvæmdinni.
Undanskilið frá áætlun:	Allt sem varðar tengivirki, þar með talið háspennurofabúnaður og launafsbúnaður ef þarf.
Beinn kostnaður (verktakar, innkaup o.s.frv.):	1.715 Mkr
Óbeinn kostnaður (hönnun, umsjón, eftirlit o.s.frv.):	470 Mkr
Ófyrirséður kostnaður:	430 Mkr
Samtals áætlaður kostnaður (án VSK):	2.615 Mkr
Verðlagsgrundvöllur (vísitala, gengi gjaldmiðils o.s.frv.):	Miðað er við verðlag í miðjum nóvember 2022
Forsendur kostnaðaráætlunar m.v. fyrirliggjandi upplýsingar	
	Hugmynd, þarfagreining <i>Um er að ræða frumkostnaðaráætlun sem miðar við sambærilega lögn og 2013 þegar VM3 var lagður.</i>
	Frumhönnun <i>Miðað er við að lagður verði um 3,0 km langur 66 kV 3x1x630 mm² ál jarðstrengur frá tengivirkinu Rimakoti að fjöru Landeyjasands og þaðan um 14 km langur 66 kV 3x400 ál sæstrengur yfir í Viðlagafjöru í Vestmannaeyjum. Þaðan verði lagður um 2,5 km langur 66 kV 3x1x630 mm² jarðstrengur að tengivirki Landsnets við Skansveg.</i>
Skýringar:	Fyrir sæstrengshlutann var miðað við tilboð ABB í 66 kV VM3 frá 2013 með 30% hækkun. Fyrir efni landstrengshlutans var miðað við metraverði tilboðs í 66 kV DA2-30 frá 2022 með 20% hækkun. Fyrir vinnu landstrengshlutans var miðað við metraverð kostnaðaráætlunar verkhönnunar jarðvinnu og lagningar 132 kV RI2 frá 2022 með 30% hækkun. Ófyrirséð er reiknað sem 20% af beinum kostnaði. Óbeinn kostnaður samanstendur af umsjón, hönnun og eftirliti (16% af beinum kostnaði + ófyrirséðu) og undirbúnings+öðrum kostnaði (6% af beinum kostnaði + ófyrirséðu).
Fyrirvari – Hér er einungis um áætlun að ræða með innbyggðri óvissu. Allar upplýsingar í þessari töflu skulu ávallt fylgja með við dreifingu til þriðja aðila.	

a. Tölfræðileg greining ólíklegra atburða

Sá atburður sem hér er gerð tilraun til að meta til fjár, skerðing afhendingargetu í Vestmannaeyjum vegna bilunar í flutningskerfinu, er mjög ólíklegur til að eiga sér stað. Samkvæmt gögnum Cigre má ætla að sæstrengur líkt og VM3 bili á 45 ára fresti að meðaltali. Ef atburðurinn á sér stað eru afleiðingar þess fyrir samfélagið miklar og kostnaður getur orðið gríðarlega mikill. Greining á atburðum sem þessum fylgir ekki hefðbundnum lögmálum tölfræðinnar og eru slíkir atburðir gjarnan kallaðir svartir svanir¹⁸. Ástæða þess að ekki er hægt að nota ýmsar hefðbundnar tölfræðilegar aðferðir fyrir slíka atburði er að undirliggjandi dreifing er með mjög þykka hala (e. fat tailed)¹⁹.

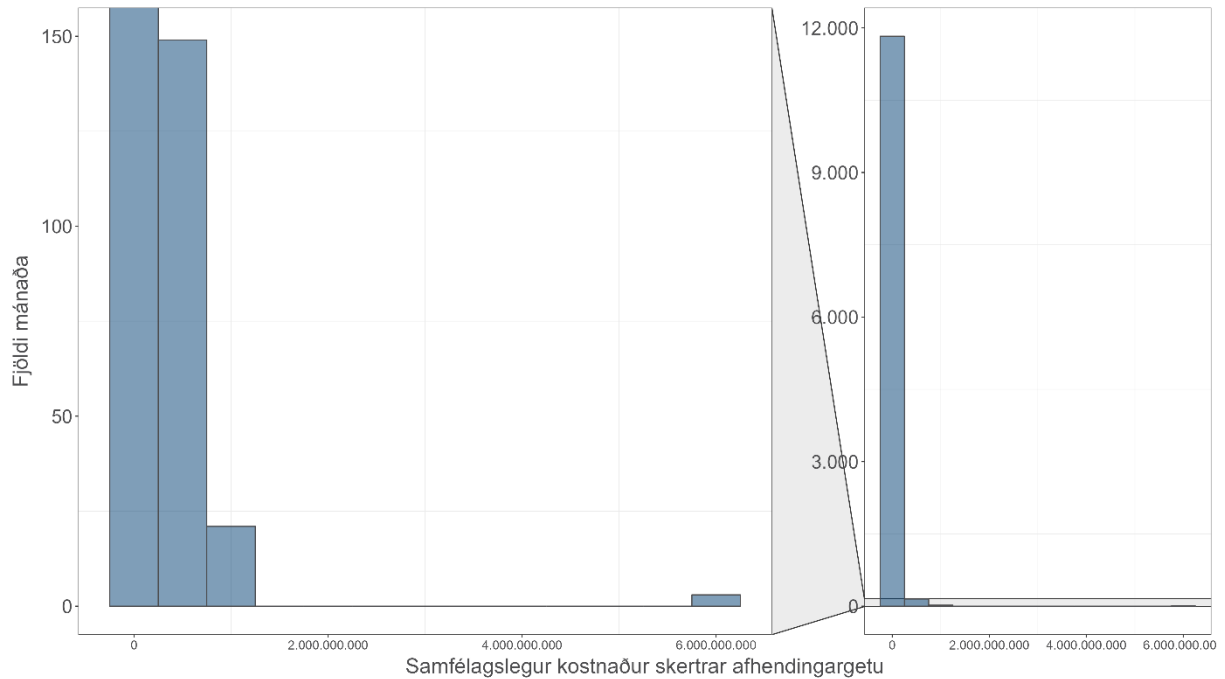
Við getum sýnt dæmi um þessa dreifingu fyrir Vestmannaeyjar með þeim gögnum sem hér hefur verið lýst að ofan. Ef stuðst er við líkur á aflstöðu, sem gefnar eru í töflu 2, og þeim kostnaði sem verður ef orkuþörf er mikil, sjá hægri hlið á mynd 16, og framkvæmd er einföld Monte Carlo hermun þar sem hermd eru 1000 ár.

Hlutfall mánaða þar sem afhendingargeta er óskert er 98,6%. Hlutfall mánaða þar sem afhendingargeta er skert er 1,4%. Hlutfall mánaða þar sem afhendingargeta er skert og afleiðingar eru mjög alvarlega (> 1 ma. kr.) er 0,125%.

Dreifingu samfélagslegs kostnaðar má sjá á mynd 17. Þar má sjá að fyrir langflesta mánuði eru afleiðingarnar ekki miklar, en fyrir örfáa mánuði eru mjög alvarlegar afleiðingar. Sýnir þessi dreifing samfélags kostnaðar þann feita hala sem einkennir svarta svani. Væntigildi kostnaðar á ári samkvæmt þessari hermun er 126.654.484 kr.

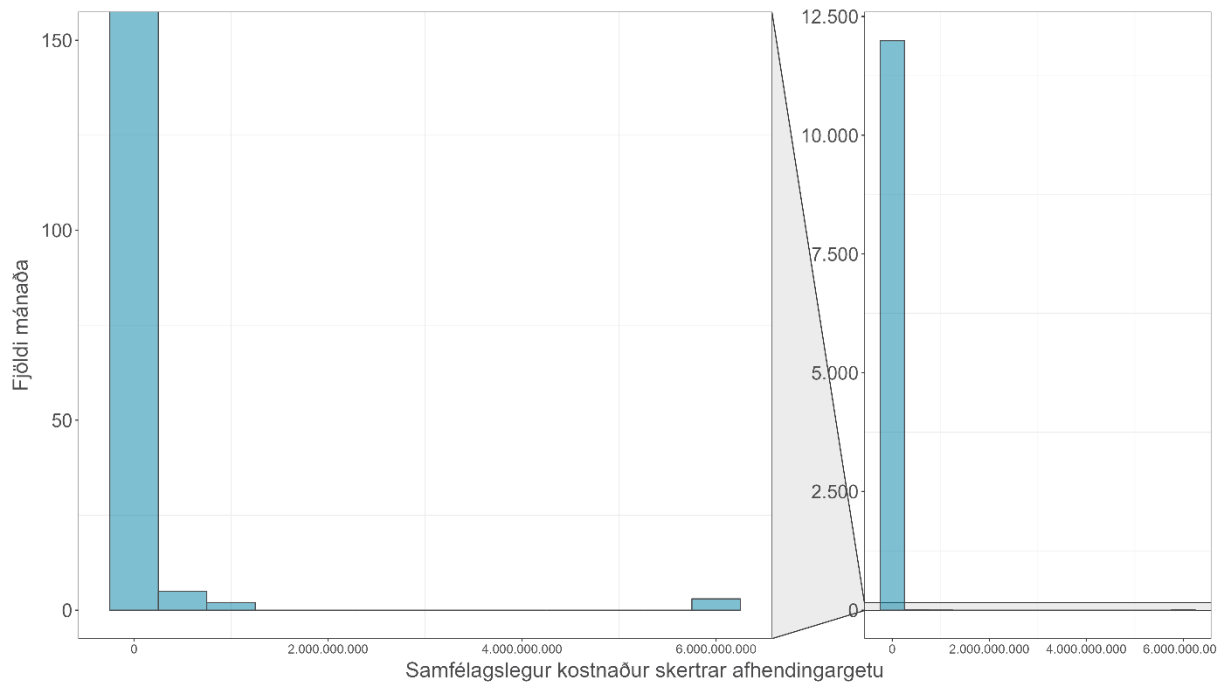
¹⁸ Taleb, Nassim Nicholas. (2007) The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable

¹⁹ Taleb, Nassim Nicholas (2020) Statistical Consequences of Fat Tails



MYND 17 Dreifing samfélagslegskostnaðar vegna skertrar afhendingargetu samkvæmt Monte Carlo hermun. Núverandi raforkukerfi án VM4

Ef sambærileg Monte Carlo hermun er framkvæmd fyrir þær líkur á aflstöðu sem gefnar eru í töflu 3 má sjá á mynd 18 hvernig dreifing samfélagslegs kostnaðar breytist. Hlutfall mánaða þar sem afhendingargeta er óskert er nú 99,9%. Hlutfall mánaða þar sem afhendingargeta er skert er 0,1%. Hlutfall mánaða þar sem afhendingargeta er skert og afleiðingar eru mjög alvarlega (> 1 ma. kr.) er 0,025%. Væntigildi kostnaðar á ári samkvæmt þessari hermun er 22.847.289



MYND 18 Dreifing samfélagslegs kostnaðar vegna skertrar afhendingargetu samkvæmt Monte Carlo hermun. Núverandi raforkukerfi með VM4

Líkt og sjá má á myndum 17 og 18 er líkindadreifing samfélagslegs kostnaðar vegna skertrar afhendingargetu flutningskerfisins með mjög langan hala. Er væntigildi samfélagslegs kostnaðar á ári leið til að lýsa þessari undirliggjandi dreifingu í einni tölu. Sú tala lýsir þó ekki allri sögunni og mikilvægt er að hafa í huga undirliggjandi líkindadreifingu kostnaðar og hvernig framkvæmdir hafa áhrif á þá dreifingu. Að meta á ítarlegri hátt hvernig svartir svanir (e. black swan events) hafa áhrif á raforkukerfið og afleiðingar út í samfélagið er út fyrir umfang þessarar greiningar.

VIÐAUKI A AÐFERÐAFRÆÐI ÚTREIKNINGA Á AFHENDINGARÖRYGGI

Með afhendingaröryggi er átt við „lýsing[u] á áreiðanleika afhendingar raforku, sem tengist rofi á raforku“²⁰. Með öðrum orðum eru líkur á skerti afhendingu raforku á afhendingarstað skoðuð út frá sögulegri tíðni truflana sem rekja má til bilana í tengivirkjun, teinum, aflrofum, skilrofum, línnum, köplum og öðrum þeim búnaði sem áhrif getur haft á raforkuafhendingu á afhendingarstað.

Í þessum kafla er farið yfir núverandi aðferðafræði Landsnets á staðbundnu afhendingaröryggi sem byggir á aðferðafræði sem m.a. Billingtons²¹ þróaði en stuðst var við hana í þessari greiningu.

a. Aðferðafræðin

Við mat á staðbundnu afhendingaröryggi til notenda nær greiningin til afhendingarstaða Landsnets og í flestum tilfellum að háspennuhlið aflspenna. Því er ekki um endanlegan áreiðanleika að ræða þar sem að íhlutir á lágspennuhlið spenna koma ekki inn í matið. Þá er einungis litið á þau truflunartilvik sem valda skerðingu þegar ein eining fer úr rekstri eða tvær einingar fara samtímis úr rekstri. Ekki eru skoðuð þau tilvik þar sem fleiri en tvær einingar fara úr rekstri samtímis enda eru líkur á slíkum tilvikum mjög litlar.

Þegar skoðað er afhendingaröryggi fyrir eina aðveitustöð/afhendingarstað, eru línuleið flutningskerfisins rakin að næstu innmötun í kerfinu eða til staðar þar sem kerfið er það sterkt að tvær eða fleiri truflanir þurfi til að skerðing eigi sér stað. Á línuleiðinni er tekið tillit þeirra eininga sem geta haft áhrif á afhendingu á afhendingarstað eins og. til flutningslína, endabúnaðs þeirra og aðveitustöðva. Í þeim tilfellum þar sem eyjakerfi myndast, t.d. við útleysingu á tveimur flutningslínnum, er tekið tillit til þess ef framleiðsla á svæðinu annar ekki álagi svæðisins.

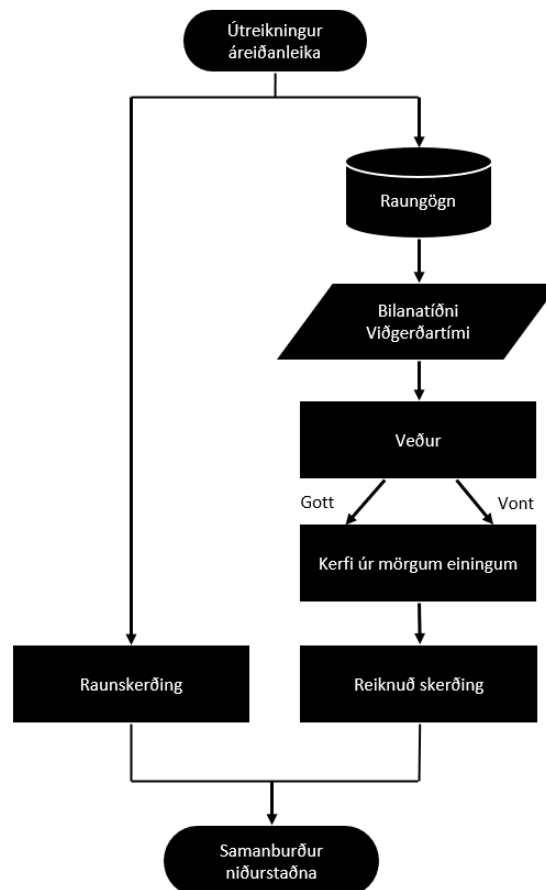
Í þessari aðferðafræði er miðað við tvístöðu eininga, þ.e. annaðhvort er eining virk eða óvirk og ekkert stig er þar á milli. Þá er ótíltæki einingar sá tími sem eining er ekki tiltæk á árgrundvelli þær

²⁰ Iðnaðarráðuneyti, „Reglugerð um gæði raforku og afhendingaröryggi, nr. 1048/2004, með síðari breytingum,“ 13 september 2022. [Á neti]. Available: <https://www.reglugerd.is/reglugerdir/allar/nr/1048-2004>.

²¹ R. Billington og R. N. Allan, Reliability Evaluation of Power Systems, New York, NY: Plenum Publishing Corp., 1984.

upplýsingar, eða raungögn, sem þurfa að liggja fyrir til að reikna ótíltæki einingar og þar með afhendingaröryggi eru bilanatíðni og viðgerðartími.

Ótíltæki (e. *unavailability*) einingar er sá tími sem eining er ekki tiltæk á ársgrundvelli og er reiknað út frá sögulegum upplýsingum, eða raungögnum, um bilanatíðni og viðgerðartíma eininga. Út frá ótíltæki er afhendingaröryggið síðan reiknað en skv. aðferðafræði Billington en þar er einungis miðað við tvístöðu eininga, þ.e. annaðhvort er eining virk eða óvirk og ekkert stig er þar á milli. Ef einingar eru raðtengdar í línuleiðinni einfalt að reikna afhendingaröryggið því þá er kerfið óvirkt um leið og ein eining bilar. Bilanatíðni raðtengds kerfis er summan af bilanalíkum allra eininga í kerfinu. Ef einingar eru hins vegar hliðtengdar í línuleið þurfa allar hliðtengdu einingar að vera bilaðar á sama tíma til að kerfið verði óvirkt. Fyrir slík kerfi þarf viðgerðartíminn að vera þekktur og koma inn í útreikninga á bilanatíðnina. Sú aðferð sem beitt er hér til að reikna bilanatíðni línuleiða kallast „Nálgun með minnsta þversniði“ (e. *minimal cut set approach*) og er kynnt nánar í næsta undirkafla. Á mynd 19 má sjá flæðirit sem sýnir aðferðafræðina í grófum dráttum.



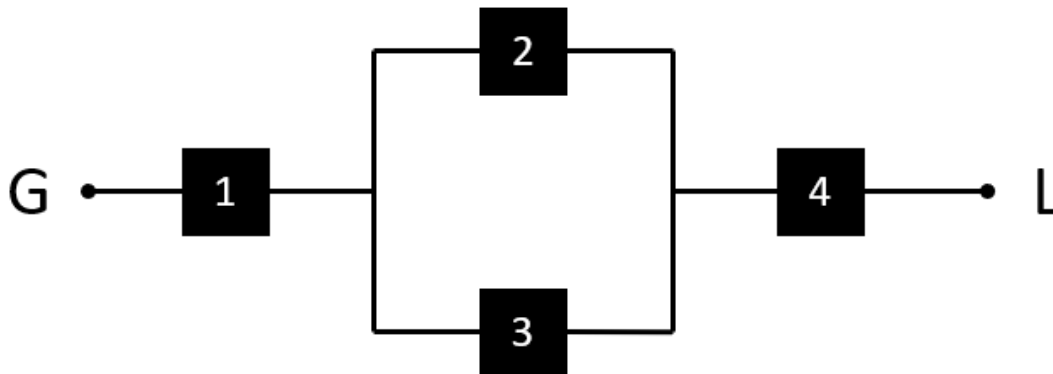
MYND 19 Flæðirit sem sýnir ferli útreikninga í stórum dráttum

b. Nálgun með minnsta þversniði

Í nálgun með minnsta þversniði, eru skoðaðar þær bilanir á einingum sem valda skerðingu í einum ákveðnum punkti en safn af einingum sem valda skerðingu eru kölluð þversnið. Skilgreind eru 1., 2., 3., ... stigs þversnið en stigið segir til um það hve margar einingar eru í þversniðinu. Þá eru valin þau

Þversnið sem hafa lægsta stig og þau reiknuð, síðan eru tekin þversnið af hærra stigi og athugað hvort innan þeirra séu þversnið af lægri stigum en ef svo er þarf ekki að taka það með í reikningana. Í aðferðafræði Landsnet eru aðeins tekin með 1. og 2. stigs þversnið, en 1. stigs þversniðin hafa mest áhrif og svo 2. stigs o.s.frv. Líkur á 3. og hærra stigs þversniðum eru mjög litlar og er þeim því sleppt í útreikningum á afhendingaröryggi.

Hér verður sýnt einfalt dæmi um nálgun með minnsta þversniði. Á mynd 20 má sjá einfalda rás með 4 einingum frá framleiðslupunkti G að álagspunkti L.



MYND 20 Einföld rás með 4 einingum

Þversnið rásarinnar á mynd 20 eru eftirfarandi:

1. stigs þversnið eru einingar: {1} og {4}
2. stigs þversnið eru einingar: {2,3}, {1,2}, {1,3}, {1,4}, {2,4} og {3,4}
3. stigs þversnið eru einingar: {1,2,3}, {1,2,4}, {1,3,4} og {2,3,4}
4. stigs þversnið eru einingar: {1,2,3,4}

Í heildina gefur þessi einfalda rás alls 13 ólík þversnið en ef litið er á minnsta þversniðin kemur í ljós að þau eru einungis þrjú, þ.e. fyrsta stigs þversniðin {1} og {4} auk annars stigs þversniðið {2,3}. Í öllum örðum þversniðum koma fyrir áður nefnd þversnið af lægra stigi.

TAFLA 12 Þversniðin í rásinni.

STIG ÞVERSNIÐS	ÞVERSNIÐ	MINNSTA ÞVERSNIÐ
1. stig	{1}, {4}	{1}, {4}
2. stig	{2,3}, {1,2}, {1,3}, {1,4}, {2,4} og {3,4}	{2,3}
3. stig	{1,2,3}, {1,2,4}, {1,3,4} og {2,3,4}	Ekkert
4. stig	{1,2,3,4}	Ekkert

i. Fyrsta stigs þversnið

Fyrsta stigs þversnið er þegar einn hluti í rás bilar og veldur skerðingu. Við fyrsta stigs þversnið, er tíðni bilana lögð saman og sama á við um ótíltæki, (e. *unavailability*), þannig að:

$$\lambda_s = \sum_i \lambda_i$$

$$U_s = \sum_i \lambda_i r_i$$

$$r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} = \frac{\sum_i \lambda_i r_i}{\sum_i \lambda_i}$$

Þar sem:

λ_s er tíðni rofa [rof/ár],
 U_s er ótíltæki [klst./ár],
 r_s er viðgerðartími [klst./bilun].

Til að fá ótíltækið sem einingarlaust gildi (hlutfall) er reiknað gildi deilt með fjölda klukkustunda í árinu:

$$U_s^0 = \frac{\sum_i \lambda_i r_i}{8760} = \frac{U_s}{8760}$$

ii. Annars stigs þversnið

Við annars stigs þversnið þurfa tveir hlutar í rás að bila samtímis til að skerðing verði. Við 2. stigs þversnið er tíðnin og ótíltækið eftirfarandi:

$$\lambda_p = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)}{1 + \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2} \approx \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)$$

$$r_p = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

$$U_p = f_p r_p \approx \lambda_p r_p = \lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2$$

Þar sem:

λ_p er tíðni rofa [rof/ár],
 r_p er viðgerðartími [klst./bilun],
 U_p er ótíltæki [klst./ár],
 f_p tíðni bilana [bilun/ár].

Til að fá ótíltækið sem einingarlaust gildi (hlutfall) er reiknað gildi deilt með fjölda klukkustunda í árinu:

$$U_p^0 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2}{8760} = \frac{U_p}{8760}$$

Heildar ótíltækið og bilanatíðnin vegna 2. stigs þversniða er eftirfarandi:

$$\lambda_{TOTAL_p} = \sum_p \lambda_p$$

$$U_{TOTAL_p} = \sum_p U_p$$

$$r_{TOTAL_p} = \frac{U_{TOTAL_p}}{\lambda_{TOTAL_p}} = \frac{\sum_p U_p}{\sum_p \lambda_p}$$

iii. Heildarafhendingaröryggi

Til að finna heildar ótíltækið og bilanatíðnina úr kerfum sem innihalda fleiri en eitt minnsta þversnið, þarf að finna bilanatíðnina og ótíltækið úr öllum 1. stigs þversniðunum sem er λ_s og U_s og leggja við heildarbilanatíðnina og ótíltækið úr 2. stigs þversniðunum, sem er λ_{TOTAL_p} og U_{TOTAL_p} . Þessu má lýsa með eftirfarandi jöfnum:

$$\lambda_{TOTAL} = \lambda_s + \lambda_{TOTAL_p}$$

$$U_{TOTAL} = U_s + U_{TOTAL_p}$$

$$r_{TOTAL} = \frac{U_{TOTAL}}{\lambda_{TOTAL}}$$

Afhendingaröryggið (A) er fundið út frá ótíltæki U og má finna á eftirfarandi hátt.

$$A = 1 - U/8760$$

þar sem U er ótíltæki í klst/ár og 8760 eru klukkustundir á ári.

iv. Tveggja veðra líkan

Margar einingar flutningskerfisins bila frekar ef veður er vont og oft margfaldast því bilanalíkurnar við slíkar aðstæður. Það er því nauðsynlegt að kanna frekar áhrif veðurs á afhendingaröryggi kerfisins. Hér á Íslandi eru það aðallega rok, selta og ísing sem valda truflunum í flutningskerfinu, en erlendis eru það oft eldingar. Það veðurlag sem hefur áhrif á bilanalíkurnar kemur sjaldan og varir stutt, en á þessu stutta tímabili margfaldast bilanalíkurnar og líkur á bilunum á fleiri en einni einingu í einu margfaldast einnig.

Bilanalíkur einingar eru samfellt fall af veðrinu og þeim ætti þá að lýsa sem slíku eða með mörgum mismunandi ástöndum. Þetta er nær ógerlegt í raunveruleikanum, þar sem ástöndin verða að vera fá. Staðall alþjóðlega rafmagnsverkfræðingafélagsins (IEEE) skiptir veðurlagi í þrjá hluta eða í eðlilegt veður, vont og meiriháttar óveður.

Eðlilegt veður Veðurlag sem ekki flokkast undir vont veður eða meiriháttar óveður.

Vont veður Veður sem veldur óvenju mörgum truflunum á meðan ástand varir, miklir vindar, stormar, ísingaveður, eldingaveður og þess háttar.

Meiriháttar óveður Veðurlag sem er verra en hönnunarforsendur kerfisins gera ráð fyrir og sem uppfyllir eftirtalið:

- miklar skemmdir á raforkukerfinu
- meira en ákveðið hlutfall viðskiptavina án raforku
- viðgerðartími lengri en ákveðin tímamörk

Við mat á afhendingaröryggi er ástandið *meiriháttar óveður* sjaldan notuð og þá aðeins í rannsóknum á miklum kerfstruflunum. Veðurlagi er því oftast skipt í tvo þætti eða *eðlilegt* og *vont veður*. Mörkin á milli þáttanna liggja í því hvort veðurlagið hefur áhrif á bilanalíkur eða ekki. Einn mikilvægur hluti í athugun á veðri er sá að veður getur haft mikil áhrif á bilanalíkur eininga þó svo að ekki verði truflun. Við mat á veðurgögnum veldur það erfiðleikum hérlendis að flutningskerfið teygir sig svo víða og yfir misjöfn landssvæði og óveður í einum landshluta hefur einungis áhrif í þeim landshluta, en ekki á öðrum stöðum.

Hægt er að líta á tímalengd veðurástands sem slembiferli sem má lýsa með væntigildum, t.d. væntanlegri lengd á eðlilegu veðri er táknuð með N og væntanlegri tímalengd vonds veðurs sem táknuð er með S . Þessi gildi eru fundin með eftirfarandi jöfnum:

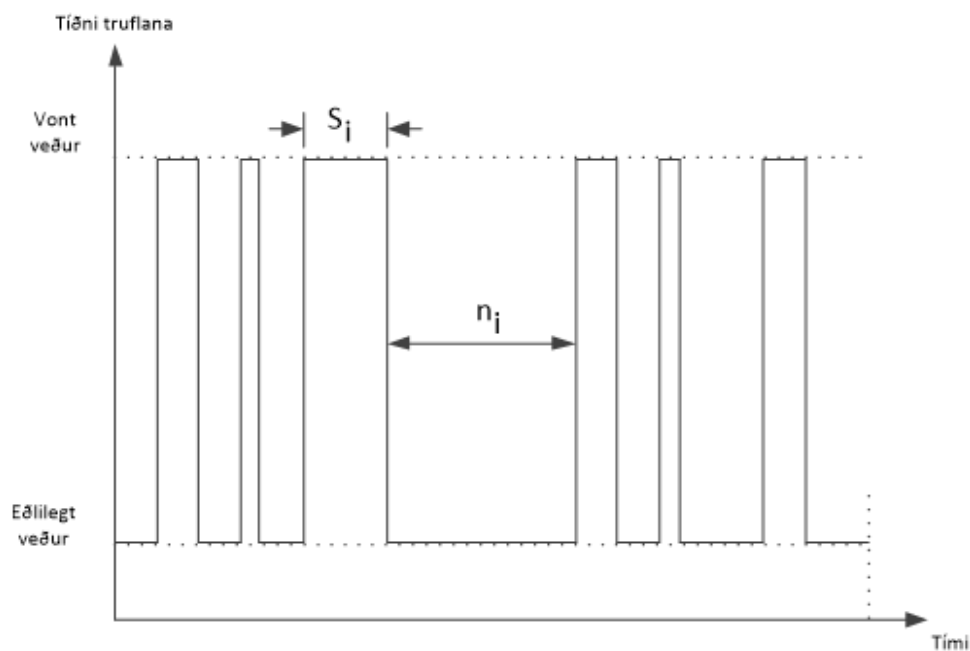
$$N = \sum_i n_i/T$$

$$S = \sum_i s_i/T$$

þar sem

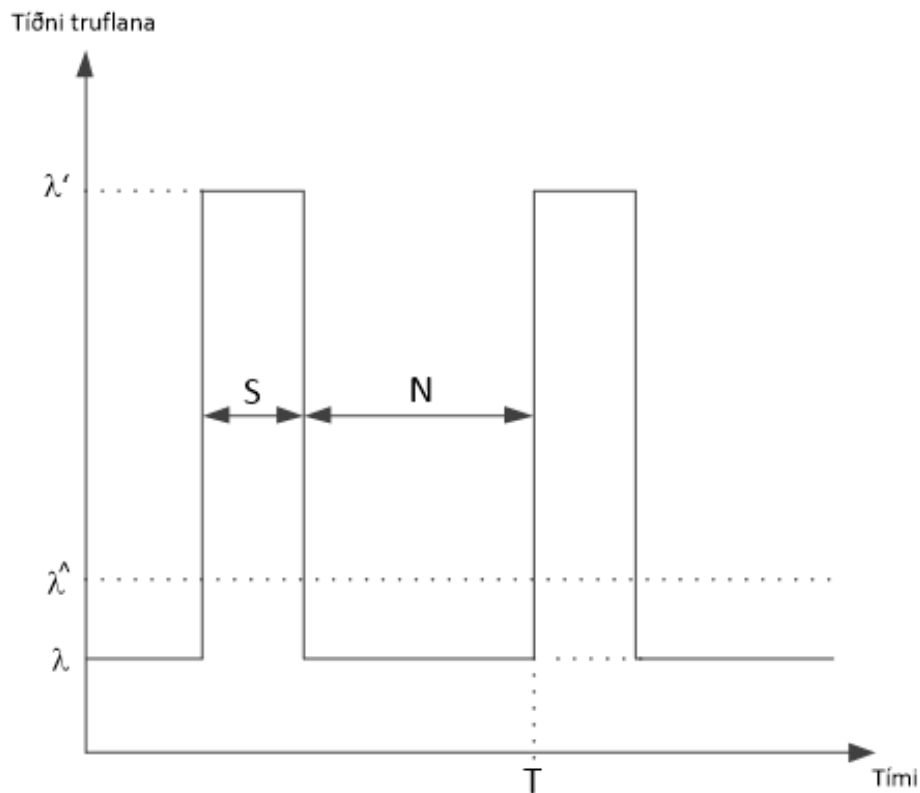
- n_i = lengd eðlilegs veðurs i ,
- s_i = lengd vonds veðurs i ,
- T = er lengd tímabils.

Gildin n_i og s_i má sjá á mynd 21 og tákna þau meðal veðurlag.



MYND 21 Breytingar í veðri.

Mynd 22 sýnir meðalsveiflur í veðri:



MYND 22 Meðalsveiflur í veðri.

Hér verða skilgreind þrjú hugtök sem sjá má á mynd 22 að ofan:

- λ bilanalíkur eininga í eðlilegu veðri, táknaðar sem bilanir á ári í eðlilegu veðri,
- λ' bilanalíkur eininga í vondu veðri, táknaðar sem bilanir á ári í vondu veðri,
- $\hat{\lambda}$ meðalgildi á bilanalíkum er gildið sem fæst þegar heildarkerfið er tekið, bilanir á ári.

Meðalgildið er hægt að skrifa sem fall af hinum tveimur:

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{N+S}\lambda + \frac{S}{N+S}\lambda'$$

Þar sem $N \gg S$, er $\hat{\lambda}$ næstum sama og λ eins og sést á mynd 22 að ofan. λ og λ' geta verið leidd út frá meðalgildinu skv. eftirfarandi jöfnum:

$$\lambda = \hat{\lambda} \frac{N+S}{N} (1-F)$$

$$\lambda' = \hat{\lambda} \frac{N+S}{S} F$$

þar sem hlutfallslegur fjöldi truflana vegna vonds veðurs er F .

Áhrif veðurs á afhendingaröryggi koma inn ef litið er á fleiri en eina truflun í einu (annars stigs þversnið), sem samt eru óháðar. Þeim er skipt í fjóra hluta og gert er ráð fyrir að viðgerðartími sé óháður veðri.

a) **Báðar bilanir verða í góðu veðri.**

Reiknað er með að $r_i \ll N$ og þá er:

$$\lambda_a = \frac{N}{N+S} [\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)]$$

b) **Fyrsta bilun verður í góðu veðri en sú seinni í vondu veðri:**

$$\lambda_b = \frac{N}{N+S} \left[\lambda_1 \left(\frac{r_1}{N} \right) \left(\lambda'_2 \frac{S r_1}{S+r_1} \right) + \lambda_2 \left(\frac{r_2}{N} \right) \left(\lambda'_1 \frac{S r_2}{S+r_2} \right) \right]$$

c) **Fyrsta bilun verður í vondu veðri en sú seinni í góðu veðri.**

Reiknað er með að $r_i \ll N$ og þá fæst:

$$\lambda_c = \frac{S}{N+S} [\lambda'_1 \lambda_2 r_1 + \lambda'_2 \lambda_1 r_2]$$

d) **Báðar bilanir verða í vondu veðri:**

$$\lambda_d = \frac{N}{N+S} \left[\lambda'_1 \left(\lambda'_2 \frac{S r_1}{S+r_1} \right) + \lambda'_2 \left(\lambda'_1 \frac{S r_2}{S+r_2} \right) \right]$$

Heildarlíkurnar á bilunum verða þá:

$$\lambda_p = \lambda_a + \lambda_b + \lambda_c + \lambda_d$$

$$r_p = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

$$U_p = \lambda_p r_p$$